



УНИВЕРЗИТЕТ „ГОЦЕ ДЕЛЧЕВ“ - ШТИП

ФАКУЛТЕТ ЗА ИНФОРМАТИКА

Катедра: Роботика и интелигентни системи

Штип

КАТЕРИНА ЦЕКОВА

МОБИЛЕН СЕНЗОРСКИ СИСТЕМ ЗА ДЕТЕКЦИЈА НА ШТЕТНИ ГАСОВИ ВО
ПОДЗЕМНИТЕ РУДНИЦИ

- МАГИСТЕРСКИ ТРУД -

Штип, 2017 година

Комисија за оценка и одбрана

Ментор: **Цвета Мартиновска**
Проф. д-р, Факултет за информатика
Универзитет „Гоце Делчев“ - Штип

Член: **Александра Милева**
Проф. д-р, Факултет за информатика
Универзитет „Гоце Делчев“ - Штип

Член: **Игор Стојановиќ**
Проф. д-р, Факултет за информатика
Универзитет „Гоце Делчев“ - Штип

Членови на комисија за оценка и одбрана

Претседател: **Александра Милева**
Проф. д-р, Факултет за информатика
Универзитет „Гоце Делчев“ - Штип

Член: **Цвета Мартиновска - ментор**
Проф. д-р, Факултет за информатика
Универзитет „Гоце Делчев“ - Штип

Член: **Игор Стојановиќ**
Проф. д-р, Факултет за информатика
Универзитет „Гоце Делчев“ - Штип

Научно поле: Информатика

Научна област: Вештачка интелигенција и роботика

Дата на одбрана: _____

Дата на промоција: _____

Листа на рецензирани и објавени трудови:

- Katerina Cekova, Jasna Cekova, Saso Gelev. "Home Automation System Control Based on Speech Commands" - XXII International Scientific-Professional Conference on Information Technology (IT), 27 February - 04 March 2017, Zabljak, Montenegro.
- Katerina Cekova, Saso Gelev. "SMS SECURITY SYSTEM FOR SMART HOME DETECTORS" – Fourth International Scientific Conference on the topic: "Science – Support the development in Southeast Europe, 24-25 December 2016, Skopje, Macedonia.
- Katerina Cekova, Natasa Koceska, Saso Koceski. "Gesture Control of a Mobile Robot using Kinect Sensor" – 6TH International Conference on Applied Internet and Information Technologies (ICAIIIT), 3-4 June 2016, Bitola, Macedonia.
- Katerina Cekova, Sasho Gelev. "CONTROLLING MOBILE ROBOT VIA BLUETOOTH" - XXI International Scientific-Professional Conference on Information Technology (IT), 29 February - 05 March 2016, Zabljak, Montenegro.
- Катерина Цекова, Игор Стојановиќ. "Одмаглување на слики со баркодови" - Годишен зборник на Факултетот за информатика (Vol 4, No 4, 2015), УГД Штип.

МОБИЛЕН СЕНЗОРСКИ СИСТЕМ ЗА ДЕТЕКЦИЈА НА ШТЕТНИ ГАСОВИ ВО ПОДЗЕМНИТЕ РУДНИЦИ

Краток извадок

Безбедноста во рудниците е многу важна за рударската индустрија. Несреќите во рудникот може да доведат до фатални повреди, болест, заболувања, големи економски загуби и смрт. Експлозиите во рудниците се честа појава, затоа спасувачките операции веднаш се потребни, но истите се и ризични. Резултатите од експлозијата придонесуваат за зголемување на нивото на штетни гасови што резултира со намалено ниво на O_2 и висока температура.

Затоа, секои нови технолошки достигнувања при набљудување и следење на концентрацијата на гасови во рудниците се од големо значење за безбедноста на човечките животи. Целта на овој магистерски труд е да се идентификуваат и да се измерат отровните гасови кои се многу распространети во подземните рудници и не можат да се откријат со човечки сетила.

Во магистерскиот труд е опишан дизајнираниот систем кој служи како далечински систем за следење на нивото на гасови во реално време кај различни области во подземните рудници, со цел да се обезбеди знаење за заштита на рударите од вдишување на прекумерен токсичен гас.

Ефикасноста на системот ќе овозможи претпазливост и безбедност во рудникот, ќе ја покажува концентрацијата на штетни гасови на ризичните места и токсичните региони пред работниците да започнат со работа во подземни рудници или додека се внатре. Ова ќе спречи прекумерно вдишување на отровни гасови што може да резултира со болести, како што се: леукемија, забрзан пулс на телото и белодробни заболувања во текот на времето. За да се спречи загуба на човечки живот и материјални загуби по експлозијата, се праќа робот во тунелот и тој ја детектира содржината гас, температура и ги пренесува сигналите до контролната соба. Но исто така, концентрациите освен со мобилниот робот се мерат континуирано со помош на сензори поставени во тунелите.

Системот користи бежична сензорска мрежа за пренос на податоци од работната средина на рудникот добиени преку сензорите за токсични гасови и сензорот за температура и влажност. Роботот ќе влезе и ќе се движи во рудникот притоа откривајќи штетни гасови и со тоа обезбедува заштита од пожар или експлозија. Со користење на роботот, како и поставените сензори внатре во рудникот, веројатноста за несреќа ќе се намали. Се обезбедува заштита од пожар, експлозија, отровни гасови како CO , CO_2 , CH_4 , H_2 , NH_3 и алармирање при зголемено ниво на температурата и концентрацијата на гасовите во тунелот. Се користи микроконтролер со прикачени сензори за добивање на резултати, а потоа преземање на потребните одлуки. Овој магистерски труд го испитува присуството на повеќе видови на отровни гасови во критичните региони. Системот е погоден за користење во подземни рудници. Со помош на овој систем, може да се намали загубата при експлозија во рудникот и да се направи успешна спасувачка акција.

Клучни зборови: Мобилна апликација, Сензори, Arduino Uno, Штетни гасови, Рудник, Систем за безбедност, Бежична сензорска мрежа

MOBILE SENSOR SYSTEM FOR DETECTION OF HARMFUL GASES IN UNDERGROUND MINES

Abstract

Safety in mines is very important for the mining industry. Mine accidents can lead to fatal injuries, diseases, major economic loss, and death. The explosions in mines are common after that rescue operations immediately needed, but they are also risky. The results of the explosion contribute to increased levels of harmful gases resulting in a decreased O₂ level and high temperature

Therefore, every new technological advance in observing and monitoring the concentration of gases in mines is of great importance for the safety of human lives. The purpose of this master thesis is to identify and measure the toxic gases that are very common in underground mines and can not be detected by human senses.

In the master thesis is describe designed system that serves as a remote monitoring system at the level of gases in real time in different areas in underground mines. In order to provide knowledge to protect miners from excessive inhalation of toxic gas.

The effectiveness of the system will allow caution and safety in the mine. It will show the concentration of harmful gases in hazardous places, and toxic regions before workers begin work in underground mines, there are inside. This will prevent excessive inhalation of toxic gases, which can result in diseases such as leukemia, the rapid rate of the body, and respiratory diseases over time. To prevent loss of human life and material losses after the explosion is sent a robot into the tunnel, and it detects gas content, temperature and transmits signals to the control room.

The system uses wireless sensor network for transferring data from the working environment of the mine received through sensors for toxic gases and temperature sensor and humidity. The robot will enter and move in the mine to discover harmful emissions and provides protection from fire or explosion. But also concentrations except the mobile robot is continuously measured by the sensors in the tunnels. By using the robot and place the sensor inside to mine the probability of an accident will decrease. Provides protection from fire, explosion, toxic gases such

as CO , CO_2 , CH_4 , H_2 , NH_3 and alert at increased level of temperature and gas concentration in the tunnel. Microcontroller with sensors is used for results and then take the necessary decisions. This master thesis examines the presence of multiple types of toxic gases in critical regions. The system is suitable for use in underground mines. With the help of this system can decrease the loss by an explosion at the mine and make a successful rescue action.

Keywords: Mobile Application, Sensors, Arduino Uno, Harmful gases, Mine, Security system, Wireless sensor network

СОДРЖИНА:

Листа на слики	10
Листа на табели	11
Листа на графици	12
Листа на користени поими	12
Листа на кратенки	12
1. ВОВЕД	14
1.1 Мотивација и формулирање на проблемот	14
1.2 Опсег на истражување	16
2. ОКОЛИНА НА РУДНИК, ШТЕТНИ ГАСОВИ И НИВНИ ВЛИЈАНИЈА	19
2.1 Работна средина во рудникот	20
2.2 Несреќи во рудниците	21
2.3 Гасови во рудник	27
2.3.1 Категории на гасови во рудникот	28
2.3.2 Својства на гасови	29
2.3.3 Опасности од запаллив гас	38
2.3.4 Опасности од отровен гас	40
2.3.5 Влажност на јамскиот воздух	41
3. СЕНЗОРИ	43
3.1 Карактеристики на сензори за гас	43
4. ПРЕНОС НА ПОДАТОЦИ	51
4.1 Безжична сензорска мрежа	61
4.2 Облак системи	63
4.2.1 Примена на cloud computing технологијата во рударската индустрија	65
5. ПОСТОЕЧКИ СИСТЕМИ ЗА МЕРЕЊЕ НА ШТЕТНИТЕ ФАКТОРИ	67
5.1 Инструменти кои служат за мерење на штетните фактори	67
5.2 Претходни системи за откривање на штетни гасови	70
6. АРХИТЕКТУРА НА СИСТЕМОТ	75
6.1 Слој за системска функција на мобилниот робот	76
6.2 Слој за управување	78
6.3 Слој за комуникација	81
6.4 Слој за чување и анализа на информации	86
6.5 Блок дијаграми	86

7. ЕКСПЕРИМЕНТАЛНИ РЕЗУЛТАТИ.....	91
7.1 Визуелен приказ.....	91
7.2 Резултати при следење на гасови во чиста и загадена средина	93
8. ДИСКУСИЈА.....	102
9. ЗАКЛУЧОК.....	106
9.1 Понатамошна работа.....	110
10. ДОДАТОК	111
11. КОРИСТЕНА ЛИТЕРАТУРА (REFERENCES)	115

Листа на слики

Слика бр. 1 Стеснат простор за работа во јама	19
Слика бр. 2 Изглед на јама после експлозија	21
Слика бр. 3 Опасности при подземен руднички пожар	22
Слика бр. 4 Опасности при подземен руднички пожар	22
Слика бр. 5 Заштитна опрема за проверка на концентрација на гасови при влегување во рудник	28
Слика бр. 6 Рушење на таванот, заради притисоците кои се јавуваат во јамата и честопати доведуваат до оштетување на потпорите.....	41
Слика бр. 7 Чувствителност на MQ-135 (Темп.20°C, Влажност:65%, O ₂ :21%, R _L =20k Ω).....	46
Слика бр. 8 Чувствителност на MQ7 (Темп.20°C, Влажност:65%, O ₂ :21%)	47
Слика бр. 9 MQ-7 сензор, MQ7 Модул	48
Слика бр. 10 го покажува излезниот сигнал како резултат на пулсирање VH.....	48
Слика бр. 11 Крива на чувствителност на MQ-7 за неколку гасови (Темп.20°C, Влажност:65%, O ₂ :21%, R _L =10k Ω, R ₀ : 100ppm, CO во чист воздух, R _S :различна концентрација на гасови).....	49
Слика бр. 12 Mesh и ѕвезда топологија во хибридна ѕвезда мрежа	59
Слика бр. 13 Процес на работа на сензорски мрежи.....	61
Слика бр. 14 Безжичната сензорска мрежа	63
Слика бр. 15 Облак и IoT базирани уреди во подземен рудник.....	66
Слика бр. 16 Асманов психрометар.....	68
Слика бр. 17 Гас детектор со цевчиња	68
Слика бр. 18 Drager X-am 5000	69
Слика бр. 19 Различни видови на анометри инструменти за мерење на брзината на движење на воздухот	70
Слика бр. 20 Кататермометар.....	70
Слика бр. 21 Архитектура на системот	76
Слика бр. 22 Мобилен робот, сензорски јазел и централен јазол	78
Слика бр. 23 Интерфејс на мобилната апликација	79
Слика бр. 24 Mesh мрежа на безжични сензорски јазли може да се користи за да се создаде паметна средина во рудникот за заштита на здравјето и безбедноста на рударите во текот на работата	82
Слика бр. 25 Начин на работа на бежична сензорска мрежа.....	84
Слика бр. 26 Складирани излезни податоци од сензорот.....	92
Слика бр. 27 Визуелен приказ при надмиување на границите на концентраци за сензорски јазли и мобилен робот.....	93
Слика бр. 28 Графички приказ на вредноста од јаглерод моноксид добиени од сензорот. а)Кривата со плава боја ја покажува вредноста на јаглерод моноксид во чиста средина а црвената ја покажува вредноста при изложеност на јаглерод моноксид. б) однос помеѓу концентрацијата и аналогниот излезен напон	94
Слика бр. 29 Графички приказ на вредноста од CO ₂ , добиени од сензорот. а)Кривата со жолта боја ја покажува вредноста на CO ₂ , во чиста средина а плавата	

ја покажува вредноста при изложеност на CO_2 , б) однос помеѓу концентрацијата и аналогниот излезен напон.....	95
Слика бр. 30 Графички приказ на вредноста од CH_4 добиени од сензорот. а)Кривата со жолта боја ја покажува вредноста на CH_4 во чиста средина а виолетова ја покажува вредноста при изложеност на CH_4 , б) однос помеѓу концентрацијата и аналогниот излезен напон.....	96
Слика бр. 31 Графички приказ на вредноста од H_2 добиени од сензорот. а)Кривата со црвена боја ја покажува вредноста на H_2 во чиста средина а зелената ја покажува вредноста при изложеност на H_2 б) однос помеѓу концентрацијата и аналогниот излезен напон.....	97
Слика бр. 32 Графички приказ на вредноста од NH_3 добиени од сензорот. а)Кривата со црвена боја ја покажува вредноста на NH_3 во чиста средина а виолетова ја покажува вредноста при изложеност на NH_3 б) однос помеѓу концентрацијата и аналогниот излезен напон.....	98
Слика бр. 33 Графички приказ на вредноста за температура добиени од сензорот. Кривата со плава боја ја покажува вредноста за температура при нормални услови, а портокаловата ја покажува вредноста при покачена температура	99
Слика бр. 34 Графички приказ на вредноста за влажност добиени од сензорот. Кривата со виолетова боја ја покажува вредноста за влажност при нормални услови а зелена ја покажува вредноста при покачена влажност.....	100
Слика бр. 35 Графички приказ на вредностите добиени за време на експлозија	101
Слика бр. 36 Мобилен робот со сензори користени за следење	111
Слика бр. 37 Почетен екран на мобилната апликација и сигнализација со боја за одредена концентрација на соодветен гас	112

Листа на табели

Табела бр. 1 Несреќи во рудници за јаглен во други земји поради експлозија	23
Табела бр. 2 Статистички податоци за несреќи во рудниците за јаглен	26
Табела бр. 3 Ефекти кои влијаат на здравјето при CO гас во различни концентрации	31
Табела бр. 4 Здравствени ефекти на CH_4 , CO_2 и H_2	33
Табела бр. 5 Здравствени ефекти на H_2S гас во различни концентрации	34
Табела бр. 6 Здравствени ефекти на SO_2 гас во различни концентрации	35
Табела бр. 7 Здравствени ефекти на NO_2 гас во различни концентрации	36
Табела бр. 8 Експлозивни граници на различни типови на гас	39
Табела бр. 9 Користени сензори нивна чувствителност и опсег на детекција.....	45
Табела бр. 10 Предности и недостатоци на Ethernet (UTP и оптички влакна).....	52
Табела бр. 11 Предности и недостатоци на Power Line Communications.	53
Табела бр. 12 Предности и недостатоци на Wi-Fi.....	54
Табела бр. 13 Предности и недостатоци на Zigbee	55
Табела бр. 14 Предности и недостатоци на VHF	55
Табела бр. 15 Предности и недостатоци на Mesh мрежи	58
Табела бр. 16 Вредности и опис на ефектите врз здравјето и експлозија	81

Табела бр. 17 Некои примо-предаватели, Ethernet и WiFi цени на модули	83
Табела бр. 18 Добиени вредности за време на експлозија	101
Табела бр. 19 Чувствителност за CO во MQ-7	112
Табела бр. 20 Чувствителност за Метан во MQ-2	113
Табела бр. 21 Извршени мерења после половина час по минирање во јамите на Рудник “Злетово”	113

Листа на графици

График 1 Дијаграм на проток кај а) мобилниот робот б) сензорски јазел	88
График 2 Дијаграм за централниот јазол.....	89
График 3 Дијаграм за контролната единица	90

Листа на користени поими

Во овој дел се наведени специфичните термини со нивното конкретно значење кои се користени во магистерскиот труд.

- Мобилна апликација: апликација за Андроид оперативен систем;

- Облак апликација: Клиент-Сервер апликација каде што се зачувуваат податоците;

- Безжична сензорска мрежа: комуникација помеѓу сензор јазли;

- Штетни гасови: отровни гасови кои се отровни за луѓето во рудниците;

- Сензори: сензори кои се користат за откривање на штетни гасови.

- Мобилен робот: уред со изглед на количка која се движи во просториите на рудникот.

Листа на кратенки

IoT	Internet of Things
CO	Јаглен моноксид
CO ₂	Јаглерод диоксид
CH ₄	Метан

NH ₃	Амонијак
O ₂	Кислород
SO ₂	Сулфур диоксид
H ₂ S	Водород сулфид
H ₂	Водород
LEL	Долна граница на експлозивност
UEL	Горна граница на експлозивност
GUI	Графички кориснички интерфејс
ESP8266	Wi-Fi чип со целосна TCP/IP способност
WSN	Безжични сензорски мрежи (Wireless Sensor Network)
ppm	Концентрација
PLC	Power Line Communications
Wi-Fi	Wireless Standard

1. ВОВЕД

1.1 Мотивација и формулирање на проблемот

Развивањето на систем за следење на штетните гасови во подземните рудници е важна задача за навремено да се откријат и спречат несреќите кои настануваат како резултат на експлозија на гасови, поплава, оган за време на експлоатација и друго [1]. Интересот за оваа проблематика зема сè поголеми размери, поради големата теоретска и практична примена.

Во минатото, спасувачката работа во рудниците била третирана како опасна задача. Откако ќе се случи експлозија и спасувачите ќе влезат во тунелот без безбедна работна средина, тие се соочуваат со тешки оштетувања поради последователните експлозии. Низ историјата на подземните рудници се случиле многу несреќи [2]. Овие несреќи секогаш резултираат со фатални повреди, смрт на рударите и огромни економски загуби за рударскиот сектор. Отровните гасови многу често се присутни во рудниците и не можат лесно да се откријат со човечките сетила.

Следењето на штетните гасови наоѓа примена во различни области, како што се: рудници (подземни и површински), далечинско следење, добивање на податоци во реално време, безбедност на работниците при зголемени концентрации и други области [3]. Поимот следење на штетни гасови во оваа магистерска теза се однесува за набљудување на концентрациите на гасови во подземни рудници со помош на сензори прикачени на мобилен робот и сензори поставени во тунелите, а со тоа и алармирање при надминување на дозволеното ниво [4, 5].

Со појавата на интегрирани системи од сензори поврзани во мрежа во текот на последните неколку години, можно е постојаното следење на нивото на гас на различни локации во подземни рудници од оддалечено место [6]. Исто така системите нудат предупредување секогаш кога процентот на гас ја надминува неговата гранична вредност.

Во овој магистерски труд, исто така, се претставени информации за тековни технологии, како и различни типови на сензори и нивната примена за следење на различни рударски активности кои се важни за распоредување на ефективни системи во областа и се користат за да се намали опасноста во рударството, како и за подобрување на безбедноста и продуктивноста [7].

Појдовната точка на ова истражување беше обработката на тези, научни трудови, списанија и книги од областа следење на штетните гасови во подземните рудници, пренос на податоци, користење на безжична сензорска мрежа, примена на мобилните и облак технологии. Притоа се согледани и трендовите за овој модел на систем и беа дефинирани целите и планот за истражување, како и развој.

Основната цел беше да се истражува и дизајнира нов ефикасен систем кој ќе придонесе за безбедноста во подземните рудници. Земајќи предвид дека проблематиката за следење на штетните гасови во рудниците во нашата земја не е доволно обработена, целите на овој труд се да се постигнат неколку задачи:

1. Развој на мобилен робот кој ќе биде поставен во тунелот и контролиран од страна на мобилен телефон;
2. Откривање на отровни гасови кои се емитураат од рудникот;
3. Откривање на ниво на топлина и влажност во рудникот;
4. Предупредувачки сигнал доколку нивото на гасови или температура се превисоки;
5. Целосна контрола на роботот преку графички кориснички интерфејс од мобилен телефон;
6. Пренос на податоци преку безжична сензорска мрежа во реално време;
7. Зачувување на податоците на облак како и пристап до истите од било кое место и во било кое време;
8. Редовен приказ на датумот, времето, видот и вредноста на гасот како и температурата и влажноста во рудникот.

Истражувачката работа започна со анализа на постоечките системи за следење на отровните гасови во подземните рудници. Беа анализирани повеќе системи и беше предложена нова идеја за развој на ефикасен модел на систем. Изработениот систем е сличен со системите презентирани во соодветната литература. Тестирањата беа направени на мобилен телефон со Андроид оперативен систем 5.1, мобилен робот, сензори и безжична сензорска мрежа. По успешната верификација и валидација на добиените резултати, истите детално се објаснети во овој магистерски труд, започнувајќи од добивање на податоци од сензорот па се до анализата на тие податоци. За овој модел на систем за следење е развиен и соодветен интерфејс.

Откако поставените цели се исполнети, се очекуваше да се дојде до заклучок и решение кое е слично со другите истражувања од истата област. Па така на почетокот од истражувањето и развојот имаше неколку клучни прашања. Првото прашање се однесуваше на начин на изработка на мобилен робот кој ќе се движи во подземниот рудник. Ова прашање наметна и неколку други подпрашања како управување на мобилниот робот преку андроид апликација како и прикачување на потребните сензори за детекција на отровни гасови. Второто прашање имаше за цел успешна комуникација и добивање на измерените податоци во реално време. И третото прашање имаше за цел добиените податоци да ги зачувува на место до кое може да се пристапи од било каде само со пристап на интернет.

1.2 Опсег на истражување

Истражувањата и изработениот систем направени во рамките на овој магистерски труд прават една целина која опфаќа откривање на штетните гасови со помош на сензори прикачени на мобилен робот кој е управуван од Андроид мобилна апликација [8] и сензори поставени во тунелите на рудникот.

Системот за откривање на гасови треба да исполнува некои специфични потреби: следење на концентрацијата на гасови во подземен или површински рудник, предупредување над дозволената граница за концентрација и пренос

на податоците во реално време [9]. Со воведување на робот за мерење на концентрацијата на токични гасови во рудниците смртноста може да биде значително намалена бидејќи мерењата се прават без екипаж испратен во рудникот.

Со користење на мобилни работи се подобрува не само личната безбедност туку се скратува и времето потребно за мерење. Целта на ова истражување е да се зголеми личната сигурност и да се забрза работата за добивање на податоци и спасување на рударите пред да се случат рударски несреќи со внимателно дизајнирање на далечинско управување на мобилен робот. Роботот е механички интелигентен агент кој може да врши работи сам, или со контролирање. Во пракса робот е обично електро-механички апарат кој е воден од компјутерско и електронско програмирање. Роботот ќе биде испратен во рудникот и ќе ги пренесе податоците добиени од сензорите поврзани со критични услови на работната средина [10, 11].

Роботот е идеална алатка пред експлозии во рудниците. Првиот проблем е експлозија на гас кој е насекаде во тунелот. Роботот мора да биде дизајниран како уред за детекција на пламен за да се избегне дефект на компонентите. Системот за следење работи во подземните тунели и реагира брзо. Кога робот ќе се прати во рудникот, тој ги детектира и испраќа условите на околината како што е температурата, присуство на отровни и опасни гасови. Роботот е опремен со различни сензори за откривање на разни отровни гасови и ако вредноста на опасните гасови ја поминува дозволената граница тогаш се обезбедува заштита на работниците кои работат во рудникот [12, 13].

Развојот на технологијата оди напред експоненцијално секоја година. Со истата брзина инженерите работат напорно за да ја намалат големината на секој електронски уред или компонента и да се намали поголемиот дел од жици. Денес, уредите иако се направени за редовна или индустриска употреба, тие се базирани на безжична комуникациска технологија, а главната причина е ослободување од жиците [14].

Безжичните сензорски мрежи овозможуваат далечинско набљудување и управување на критични уреди, додека обезбедуваат податоци за да се

овозвозможи добивање на повеќе информации за донесување на одлуки, подобра контрола и зголемување на можности за приходи. Тие ја отвораат вратата за еден нов свет на можности во синџирот на снабдување, собирање на податоци, систем за следење, контрола и апликации [15, 16].

Во овој магистерски труд се опишани постојните технологии за следење на штетни гасови и пренос на добиените податоци преку безжична сензорска мрежа. Значи, исклучително е важно да се развие систем за безбедност за следење на гасови во производството на рудниците. Во овој магистерски труд, претставен е систем за откривање на штетни гасови и нивно следење. Неговите главни функции вклучуваат: следење на концентрацијата на гасови во реално време, пренесување на податоци во реално време од површински или подземен рудник, автоматско предупредување за опасност пред несреќата и обезбедување на корисни информации за спасување на луѓето.

2. ОКОЛИНА НА РУДНИК, ШТЕТНИ ГАСОВИ И НИВНИ ВЛИЈАНИЈА

Примитивните техники за следење на атмосферата на рударството може да се видат наназад до употреба на канаринци и други животни за да се алармираат рударите кога атмосферата станува токсична. Работата во јама е специфична поради стеснетиот простор, загадениот воздух, помалото количество на кислород, опасностите од загушување, пожарите, отровните гасови и многу други опасности. Рударите треба многу добро да ги познаваат условите во работната средина, опасностите на работното место, како и мерките за заштита на работното место. Сите вработени треба да се свесни за опасностите и за безбедноста на работното место. *Слика бр. 1* го прикажува стеснатиот простор за работа во јама.



Слика бр. 1 Стеснат простор за работа во јама

Figure 1. Narrow work space in the hole

Во подземните рудници системите за вентилација се од суштинско значење за да се обезбеди доволно кислород, одржување на неексплозивни и нетоксични атмосфери за да може рудникот ефикасно да работи. Системот за вентилација во рудникот може да помогне во елиминирањето на високи атмосферски опасности.

Интегрирањето на систем за следење овозможува интелигентно направени промени врз основа на добиените податоци кои се обезбедени со следење.

За опстанок на живи организми потребен е воздух со добар квалитет, богат со кислород и без штетни состојки. Организмот ја користи енергијата за обезбедување на температура на тело (36°C) како и движења на телото. Без кислород најмногу страдаат мозочните клетки коишто умираат ако во нив подолго време се задржи јаглеродот.

Земјината атмосфера е составена од мешавина на гасови. На површината на Земјата односот на овие гасови останува ист. Површинските случувања, како што се: пожари, експлозии, вулкански ерупции, па дури и дишењето на животните и растенијата, може да влијаат на пропорциите на овие гасови во воздухот. Овие ефекти обично се краткотрајни и влијаат на само една мала област, бидејќи концентрацијата на невообичаен гас брзо се дисперзира со ветер и воздушни струења. Спротивно од ова подземните рудници се со ограничени простори и абнормалните гасови немаат можност да исчезнат. Меѓу сите индустриски активности, рударството е една од најпознатите тешки и опасни занимања. Значи безбедноста одамна е голем предизвик во рударството. Тоа е затоа што постојат многу токсични гасови. Некои гасови кои се појавуваат во рудниците можат да предизвикаат опасност за луѓето кои работат под земја.

2.1 Работна средина во рудникот

Рудниците обично имаат долги тунели кои имаат камени ѕидови покриени со кал, прашина и нечистотија, со 114mm и 600mm патека со шини во средината на тунелот. Условите после катастрофа вообичаено се многу опасни се состојат од комбинација на тежок чад, нестабилни површини, расфрлани шини, карпи и камења, песок и чакал, течности, распаднати греди, патеки и скали, како и паднати челични мрежи и електрични кабли. Примери за ова може да се видат на *слика 2*.



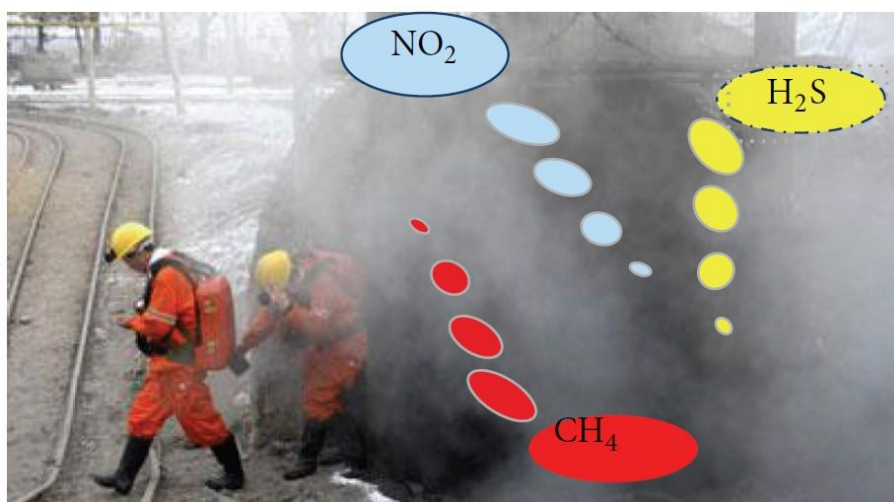
Слика бр. 2 Изглед на јама после експлозија

Figure 2. Appearance of hole after explosion

Работата во рудниците вклучува големи количини на отстранување, фрлање, и повторно насипување во ископани области. Правењето тунели со поостри ископи и патеки се опасни и ризични. Овие грешки можат да доведат до губење на вредни човечки животи и оштетување на рударски машини. Пожар, токсични атмосферски загадувања, прашина и гас експлозии, се неколку критични опасности конкретно поврзани со подземна експлоатација во рудник. Неопходно е да се дознае која област треба да се дефинира како опасна област, така што рударите треба да бидат предупредени однапред.

2.2 Несреќи во рудниците

Работниците кои работат во рудници со подземна експлоатација се изложени на многу опасности. *Слика 3 и слика 4* прикажуваат опасности при подземен руднички пожар.



Слика бр. 3 Опасности при подземен руднички пожар

Figure 3. Hazards associated with underground mine fire



Слика бр. 4 Опасности при подземен руднички пожар

Figure 4. Hazards associated with underground mine fire

Во рудниците со подземна експлоатација има опасности од:

- рушење на кровот и затрупување во јама;

- опасности при движење во јама;
- опасности од прашина и гасови;
- опасности од руднички пожари;
- опасности од експлозии во јама;
- опасности од влага и лоши климатски услови; и
- опасности од повреди при работа со машините.

Основните причини за несреќи во рудниците се: поплава, експлозија, пожар, спонтано греење и слабост на слоеви. Количината на емитирањето на гас постепено се зголемува заедно со длабочината на рудникот, со што се зголемува ризикот од изливи на гас. Во табела 1 се претставени статистички податоци за катастрофи во рудници во други земји во текот на последните четири децении [17].

Табела бр. 1 Несреќи во рудници за јаглен во други земји поради експлозија

Table 1 Major accidents in coal mines in other countries due to mine explosion

Дата на несреќа	Име на рудникот	Број на загинати рудари	Причина за несреќата
12.12.1866	Oaks colliery, Велика Британија	388	Запалива експлозија на гас
10.03.1906	Northern colliery, Франција	1099	Експлозија на јагленова прашина
6.12.1907	Monongah colliery, Западна Вирџинија (САД)	362	Токсична експлозија на гас
14.10.1913	Senghenydd colliery, Велс, Велика Британија	439	Експлозија на запалив гас
15.12.1914	Mitsubishi Hojyo coal mine, Јапонија	687	Експлозија на гас
26.04.1942	Benxihu (Honkeiko) colliery, Кина	1549	Експлозија на јагленова прашина
09.11.1963	Mistui Mike coal mine, Јапонија	458	Експлозија на гас
06.06.1972	Wankie colliery, Родезија, Зимбабве	426	Отровен гас, експлозија
25.08.1990	Dobrnja-Kreka coal mine, Босна	180	Експлозија на гас
21.04.1991	Shaanxi coal mine, Кина	147	Експлозија на гас

04.03.1992	Black sea coal mine, Зонгулдак, Турција	263	Експлозија на запалив гас
27.11.1996	Northern city mine, Datong, Кина	144	Експлозивни природни гасови
28.09.2000	Muzhonggou coal mine, Кина	162	Експлозија на гас
20.06.2002	Chengzihe mine, Кина	124	Експлозија на гас
20.10.2004	Daping mine, Кина	148	Експлозија на гас
28.11.2004	Chengzihe mine, Кина	166	Експлозија на гас
8.12.2005	Liuguantun mine, Тангшан, Кина	54	Експлозија на гас
19.03.2007	Ulyanovskaya longwall coal mine, Кемерово, Русија	108	Експлозија на метан
18.11.2007	Zasyadko coal mine, Донецк, Украина	101	Експлозија на метан
06.12.2007	Northern Shaanxi coal mine, Кина	105	Експлозија на гас
18.09.2009	Wujek S' la ₂ sk bituminous coal mine, Ruda S' la ₂ ska, Полска	12	Експлозија на метан
21.11.2009	Xinxing coal mine, Североисточната провинција на Heilongjiang, Кина	108	Експлозија на гас
11.05.2013	Coal mine southwest, Пекинг, Кина	22	Експлозија на гас
29.10.2013	La pola de Gordon coal mine, северна Шпанија	6	Експлозија на гас
4.06.2014	Yanshital coal mine, Chongqing, Шангај, Кина	22	Експлозија на гас

Во Јужна Африка во рудници за јаглен, 300 експлозии во рудниците за јаглен биле пријавени со 1.037 загинати и над 600 повредени работници во рудниците за јаглен помеѓу периодот од 1981 и 2007 година.

Рудникот е подземен систем од тунели. При несреќи кои се случуваат во рудниците, луѓето често се заробени во тунелите и не можат да избегаат од нив. Кај рудниците за јаглен често се јавува зголемување на количината на метан (CH_4). Кога јагленот се минира, се ослободува CH_4 гасот. Гасот присилно

се турка надвор од системот за вентилација. Пламенот може да предизвика голема експлозија. Тунелот на рудникот е тесен ходник, па бранот од експлозија може да уништи било што во тунелот. Уредите и луѓето може да бидат изложени и на јагленова прашина со која се полни тунелот. Проблем може да претставува и малата количина на O_2 и високата температура во тунелите.

Кога концентрацијата на метан во воздухот е голема, може да предизвика задушување. Во рудниците, кога температурата на работната средина ќе достигне одредена вредност, јагленот може да почне спонтано согорување, при што снабдувањето со кислород на тие места нема да биде доволно, и тоа ќе предизвика несоодветно согорување и голема количина на јаглерод монооксид (CO).

Температурата на атмосферата во рудникот зависи од длабочината на рударските окна. По експлозиите во рудниците тешко е да се знае што се случило. Во такви случаи, тимот за потрага и спасување директно влегува во рудникот со гас детектори и доаѓа лице в лице со можно истекување на гас. Меѓутоа, кога се мери гасот и тој ги надминува експлозивните нивоа спасувачкиот тим се наоѓа во ризик од секундарни експлозии. По несреќата од резултантните чад и прашина, тешко е да се преземе операција за спасување. Поради горенаведените ризици, операцијата за пронаоѓање и спасување се врши многу бавно, со цел да се обезбеди сигурноста на животот во овие опасни средини, а во некои случаи не може да се изврши.

Вдишувањето на гасот кој е мешавина од прашина, јаглероден диоксид и азот, постепено го уништува крвниот систем на телото, што може да резултира со хронични болести како последица на изложеност на токсични гасови. Истражување спроведено во 2006 година покажало значително зголемен ризик од леукемија кај германските работници со долга професионална кариера во подземните рудници. Поради тоа вреди да се напомене дека, по детонација рударите треба да чекаат надвор од рудникот одреден временски период за да исчезнат отровните гасови и прав.

Со цел да се елиминира или да се намали ризикот од катастрофи во рудниците, од суштинско значење е да се испита секој придонесувач на катастрофа во рудникот, со цел да се проценат причините и да се подготви програма погодна за отстранување на ризикот.

Ефикасното следење на концентрациите на отровни гасови во ограничени области, како што се рудниците, се смета како проблем од посебно значење од страна на рударската индустрија. Овој предизвик е значително поголем во неструктурирани подземни рударски работни средини, како што се слоевите. Словите на рудникот се формирани како резултат на постојана детонација од стратешки страни со експлозив. По минирањето или други рударски активности, како што се: дупчење, изградба и забрана, подземните терени стануваат ограничени, непознати, неорганизирани и особено опасни со присуството на отровни материи.

Гасовите во рудникот се висококонцентрирани и токсични, тие се закана за здравјето на рударите. Информацијата за густината на отровните гасови во воздухот ќе помогне во спречување на болести кај рударите и е очигледно добра основа за подобрување на постапките за безбедност во рудниците. Табела 2 прикажува статистички податоци за несреќи во рудниците за јаглен.

Табела бр. 2 Статистички податоци за несреќи во рудниците за јаглен

Table 2 Statistical data on accidents in coal mines

Тип на несреќа	Појавување	Број на смртни случаи
несреќи од гас	3318	492
одрони во тунели	1332	907
несреќи од поплави	1111	166
транспорт	261	230
прашина	234	4
пожар	58	39
пад	57	14
електрична енергија	40	38

2.3 Гасови во рудник

Детонацијата на експлозив (минирањето) генерира потенцијално штетни гасови. Гасовите што се појавуваат зависат од составот на експлозивот и материјалите во процесот на минирањето. Минирањето, исто така, ја намалува концентрацијата на кислород во воздухот. Дишењето на загаден воздух по експлозијата може да убие рудар во неколку минути. Како резултат на тоа, рударите се свесни дека атмосферата веднаш по активирање на експлозивот може да претставува опасност по здравјето.

Под отрови се подразбираат материи кои однадвор навлегуваат во организмот или се создаваат во организмот, и кои стапувајќи во реакција со ткивата се во состојба да ја попречат нивната работа, па дури да доведат до смрт. Тие отровни материи можат да делуваат штетно на работното место или после работната задача. Подземните рудници за јаглен се карактеризираат со тешки услови за работа и опасна работна средина.

Гасовите кои обично се наоѓаат во рудниците се: азот, јаглерод диоксид, кислород и метан [18]. Гасовите како водород сулфид, јаглерод моноксид и азотни оксиди се наоѓаат исто така, но нивното појавување е многу ретко. Познавањето на овие гасови и на нивните карактеристики, како и нивните физиолошки ефекти на луѓето, е од суштинско значење за развој и избор на соодветни сензори за откривање на штетни гасови, како и преземање на соодветни мерки за да се избегнат сите непријатни инциденти (слика 5).



Слика бр. 5 Заштитна опрема за проверка на концентрација на гасови при влегување во рудник

Figure 5. Protective equipment for checking the concentration of gases when entering in mine

За половина век малку работи се имаат променето во однос на начинот на ископувањето. Набљудувањето и следењето на технологии за опасни средини во рударство претставува основа поврзана со заштита. Исто така најновите достигнувања со сензори и комуникациски уреди може да се користат за спречување на инциденти и да се обезбеди рано предупредување.

2.3.1 Категории на гасови во рудникот

Гасовите во рудникот се категоризираат во три видови, имено: (1) согорлив или запалив гас, (2) отровни гасови и (3) кислород.

(1) Согорливи/запаливи гасови:
• експлозивна опасност;
• за да се избегне експлозија, атмосферското ниво мора да се одржува под долната граница на експлозивност за секој гас;
• општо се мери како 0-100%;
• системите за набљудување на запаливи гасови треба да алармираат

пред да се појави потенцијална експлозивна состојба.
(2) Отровни гасови:
<ul style="list-style-type: none"> • опасни за здравјето на луѓето, изложеноста на работниците мора да се следи;
<ul style="list-style-type: none"> • обично се мери во опсег дел од милион (ppm);
<ul style="list-style-type: none"> • набљудувањето на отровен гас треба да ги алармира работниците пред нивото на гас да достигне штетна концентрација;
<ul style="list-style-type: none"> • со набљудувањето на некои отровни гасови може да се пресмета просечната изложеност во текот на времето, обезбедување на граница за кратко изложување (STEL), времето и бројот на просечно (TWA) читање.
(3) Кислород:
<ul style="list-style-type: none"> • атмосферите што содржат малку кислород (помалку од 19.5% кислород по волумен) се сметаат дека имаат "недостаток на кислород" и се мешаат со нормалното човечко дишење;
<ul style="list-style-type: none"> • атмосферите што содржат премногу кислород (повеќе од 25% кислород по волумен) се сметаат за "збогатени со кислород" и имаат зголемен ризик од експлозија;
<ul style="list-style-type: none"> • волуменскиот опсег се мери во проценти (нормален процент на кислород во воздухот е 20,8%);
<ul style="list-style-type: none"> • ако од набљудувањето на кислород се добие дека атмосферата содржи или премалку или премногу кислород потребно е да се алармира.

2.3.2 Својства на гасови

Составот на воздухот кој минува низ мрежата на подземните отвори се менува. Постојат две основни причини за тоа: прво, со експлоатацијата во подземните конструкции овозможува гасовите да бидат заробени во околината,

но слоевите да одат во вентилацијата; второ, голем број на хемиски реакции можат да предизвикаат промени во составот на воздухот во рудникот. Оксидацијата го намалува процентот на кислород и често предизвикува производство на јаглерод диоксид, азот диоксид и сулфур диоксид. Дејството на киселинската вода во рудникот со сулфидни минерали може да произведе водород сулфид, а согорувањето на горива или употреба на експлозивни произведува голем број на загадувачи. Повеќето од смртните случаи се резултат на пожари и експлозии во рудникот кои се предизвикани од отровни гасови кои се создаваат брзо во такви околности.

❖ Јаглерод моноксид CO

Јаглерод моноксид CO е безбоен и нема мирис, па не може лесно да се детектира од луѓето. Јаглерод моноксид побрзо влијае на мали животни отколку на луѓе. Во минатото кафез со канаринци се користел како едноставен начин за откривање на јаглерод моноксид. Птиците ќе реагираат пред да влијае на рударите, и тие може да се заштитат брзо во област со свеж воздух. Модерната опрема може да детектира јаглероден моноксид и да покаже точно каде е присутен гасот. Јаглерод моноксид е високотоксичен за телото. Кога ќе се вдише, CO брзо се врзува со хемоглобинот во организмот со што се намалува способноста на крвта да носи кислород низ телото. Се смета дека концентрации од 0,02%mg се опасни по животот и здравјето. Загушувањата со CO можат да бидат акутни и хронични. Акутните настануваат кога за кратко време се вдишува поголема количина на CO, а хронични кога подолго време се вдишува одредена количина на CO. При акутното труење прв синдром е главоболка. Ако продолжи дејството на CO доаѓа до општа слабост, отеженост во нозете, сонливост, малаксаност, а потоа и грчеви, пореметување на дишењето, црвенило на лицето, онесвестување и на крај смрт. Табела 3 укажува ефекти кои влијаат на здравјето при CO гас во различни концентрации.

Својства:
- специфична тежина: 0,967;
- запаливив;
- безбоен;

- без вкус;
- без мирис;
- полесн од воздухот;
- експлозивен опсег: од 12,5% до 74%.

Табела бр. 3 Ефекти кои влијаат на здравјето при CO гас во различни концентрации

Table 3 Health effects of CO gas at various concentrations

Концентрација (ppm)	Физиолошки ефект
35	минимална изложеност за 8 часовна работа;
200	мала главоболка, замор, вртоглавица, гадење по 2 до 3 часа;
400	фронтална главоболка во рок од 1 до 2 часа, опасно по живот по 3 часа;
800	Вртоглавица, гадење и грчеви во рок од 45 минути, несвест во рок од 2 часа. Смрт од 2 до 3 часа;
1,600	главоболка, вртоглавица, гадење во рок од 20 минути, смрт во рок од 1 час;
3,200	главоболка, вртоглавица, гадење во рок од 5 до 10 минути, смрт во рок од 30 минути;
6,400	главоболка, вртоглавица, гадење во рок од 1 до 2 минути, смрт во рок од 10 до 15 минути.

❖ Јаглерод диоксид CO₂

CO₂ настанува при дишење, вриење, согорување на јаглен, во канали, во тесни простории каде луѓето се принудени постојано да го вдишуваат веќе издишаниот јаглерод диоксид. Тој е безбоен гас, без мирис, потежок од воздухот и затоа се собира на дното во јамите, бунарите и сл.

Јаглерод диоксид може да се формира како резултат на оксидација, каде што јагленот кој е во контакт со воздухот го користи кислородот за

производство на јаглерод диоксид. Тоа не е проблем кога има добро проветрување во рудникот. Јаглеродот диоксид е потежок од воздухот, така што ќе лежи во пониските делови на рудникот или во старите напуштени патишта. Природниот воздух содржи околу 0,03% CO_2 . Тоа е клучна компонента на црна влага предизвикана од биолошка оксидација, како што се гниење на дрва. Зголемените концентрации на јаглерод диоксид го заменуваат кислородот во воздухот во рудникот и создаваат проблем на гушење.

❖ **Метан CH_4**

Гасот метан е познат како запалив гас во рудниците. Како што сугерира ова име, метанот може да гори, а во одредени услови може да предизвика експлозии. Експлозивната смеса од метан може да се формира од пламен, прегреана машина, или пак една искра да предизвика експлозија. Постојат многу строги правила за тоа што може да се постави под земја и како да се одржуваат работните машини. Метанот е безбоен и нема мирис. Во добро проветрени рудници, овој гас нема да се појави, но тој е полесен од воздухот, па ќе се зголеми во повисоките точки во подземните работни простории. Гасот метан природно се наоѓа во јагленовите рудници. Тој вклучува многу испарливи органски соединенија, вклучувајќи: метан, етан, бутан, пропан и загадувачи. Метанот е најчестата состојка (>50%) која се наоѓа во природен гас. Тој е најчестиот од опасните гасови најдени во подземните рудници за јаглен и исто така има најголем удел во пожарот (70-90%). Метанот е високоексплозивен ако нивото на концентрација достигнува 5-15% со минимум од 12,5% кислород. Мала искра од сечење или електрична опрема може лесно да го запали гасот и да резултира со огромна експлозија.

Својства:
- специфична тежина: 0,5545;
- безбоен;
- без мирис;
- без вкус;
- запалив;
- полесен од воздухот;

- експлозивни опсег: од 5% до 15%, со минимум од 12,5% O ₂
- палење на температура: од 1100° F до 1300° F.

❖ Водород (H₂)

Водородот е исклучително експлозивен гас. Се произведува кога водата се нанесува на жежок оган во рудникот или поради нецелосно согорување во експлозии. Тој станува експлозивен кога е изложен на топлина или пламен во присуство на само 5% кислород. Експлозии може да се случат кога неговата концентрација е повеќе од 7%. Во *табела 4* се прикажани здравствени ефекти на CH₄, CO₂ и H₂.

Табела бр. 4 Здравствени ефекти на CH₄, CO₂ и H₂

Table 4 Health effects of CH₄, CO₂, и H₂

Гасови	Својства	Здравствени ефекти	Концентрација на гас во воздухот (ppm)
CO ₂	- безбоен, без мирис, потежок од воздухот, кисел вкус во високи концентрации;	- предизвикува стимулирано дишење на 5%, несвестица по изложеност на неколку минути на 7-10%;	280-390
CH ₄	- безбоен, без мирис, без вкус, запаллив, полесен од воздухот;	- задушување, вртоглавица, главоболка, гадење во високи концентрации поради поместување на кислород;	1.79-2.0
H ₂	- безбоен, полесен од воздухот, реагира лесно со други хемиски супстанции, формира лесно експлозивни смеси;	- предизвикува недостаток на кислород во средина во висока концентрација, главоболка, зуење во ушите, вртоглавица, гадење, кожата посинува.	0.5

❖ Водород сулфид (H_2S)

Водородниот сулфид е исклучително токсичен гас што го блокира користењето на кислород во клетките на телото. Се произведува кога сулфурни соединенија се распаѓаат. Водород сулфид е отровен гас кој мириса на расипано јајце, и може да се формира кога водата во карпите реагира со минерали кои постојат под земја. Дури и во многу ниски концентрации (0.003 ppm), гасот е екстремно запалив. Тој е потежок од воздухот и високорастворлив во вода. Табела 5 ги претставува ефектите на здравјето од H_2S гас во различни концентрации.

Својства:
- специфична тежина: 1.191;
- безбоен;
- мирис сличен на расипани јајца во многу ниски концентрации (0.003 ppm) ;
- екстремно запалив;
- потежок од воздухот;
- високорастворлив.

Табела бр. 5 Здравствени ефекти на H_2S гас во различни концентрацииTable 5 Health effects of H_2S gas at various concentrations

Концентрација (ppm)	Физиолошки ефект
10	- очигледен и непријатен мирис (расипани јајца) ;
50	- лесен конјунктивитис, иритација на дишните патишта од 30 до 60 минути;
100	- го убива сетилото за мирис од 3 до 5 минути;
200	- проблеми на очите и грлото;
250	- изложеност од 1 час е опасна граница на концентрација преку која може да предизвика смрт;
300	- опасност за животот;
500	- вртоглавица, кашлање, дишењето престанува во рок од неколку минути, потреба од вештачко дишење;

600	- може да предизвика смрт во рок од 2 минути;
700	- брзо предизвикана несвест и смрт ако веднаш не се интервенира;
1000	- веднаш предизвикана несвест, дишењето престанува, и настанува смрт во рок од неколку вдишувања.

❖ Сулфур диоксид (SO_2)

Сулфур диоксид се создава кога железо пирит согорува големо количество оган или со детонација на сулфидна руда. Тој, исто така се наоѓа во дизел издувните гасови. Сулфур диоксид го има истиот ефект на телото како азот диоксид, освен што е создаден од сулфурна киселина. Тој е незапалив гас. Табела 6 ги претставува ефектите на здравјето од SO_2 гас во различни концентрации.

Својства:
- специфична тежина: 2.264;
- безбоен;
- тежок мирис на сулфур;
- кисел вкус;
- потежок од воздухот;
- незапалив.

Табела бр. 6 Здравствени ефекти на SO_2 гас во различни концентрации

Table 6 Health effects of SO_2 gas at various concentrations

Концентрација (ppm)	Физиолошки ефект
0.3 - 1	забележлив вкус;
3 - 5	забележлив мирис;
10	максимална дозволена концентрација за подолго изложување;
20	најмала количина предизвикува кашлање и иритација на очите;

50	иритација на очите, белите дробови, грлото
50 - 100	максимална концентрација за кратко изложување (од 30 до 60 минути);
150	може да се издржи неколку минути;
400 - 500	опасно по животот.

❖ Кислород (O_2)

Кислородот е од суштинско значење за животот. Иако тој не е експлозивен по природа, овој гас го поддржува и забрзува согорувањето. Нормално, воздухот содржи 20,94% кислород по волумен. Атмосферата која содржи помалку од овој износ предизвикува задушување.

❖ Азот диоксид (NO_2)

Азот диоксидот е исклучително токсичен за човечкото тело. Се произведува од страна на детонација на експлозив и, исто така, може да се најде во дизел издувните гасови. Овој незапалив гас има горчлив или мирис на хлор и потежок е од воздухот. Ако се вдишува во високи концентрации, азот диоксид формира азотна киселина во белите дробови, предизвикувајќи белодробен оток. Во *табела 7* се здравствените ефекти на NO_2 гас во различни концентрации.

Табела бр. 7 Здравствени ефекти на NO_2 гас во различни концентрации

Table 7 Health effects of NO_2 gas at various concentrations

Концентрација (ppm)	Физиолошки ефекти
1-13	иритација на носот и грлото;
10-20	блага иритација на очите, носот и горниот респираторен тракт;
80	предизвикува стегане во градите по вдишување на гасот за 3-5 мин;
90	предизвикува белодробен оток по вдишување на гасот за 3-5 мин.

❖ Амонијак NH_3

Амонијак NH_3 е безбоен, силно алкален гас со силен надразнувачки мирис. Како што се зголемува концентрацијата, силниот продорен мирис станува сè повеќе иритирачки. Амонијакот се апсорбира со вдишување, голтање, а веројатно и преку кожата во концентрации доволно високи за да предизвика повреда на кожата. Тој ги иритира очите и предизвикува формирање солзи во очите. Покрај тоа, ја иритира слузницата на носот и грлото. Блага до умерена изложеност може да предизвика главоболка, лачење на пунка, горење на грлото, губење на чувството за мирис, потење, гадење, повраќање и болки во градите. Ретка алергиска реакција од вдишување на амонијак е осипот.

Сериозна изложеност може да предизвика смрт од задушување или течност во белите дробови (белодробен оток). Со брз медицински третман повеќето од жртвите се опорават целосно. Меѓутоа, во некои случаи остануваат ефекти, како што се оштетување на видот, намалена респираторна функција и засипнатост. Лимитот на изложеност на амонијак е 25 (ppm) за 8 часа. Тој е полесен од воздухот и има специфична тежина 0,59.

NH_3 е токсичен гас. Најверојатниот извор на амонијак во подземни рудници е од амониум нитрат (ANFO) експлозивна реакција со цемент во присуство на вода. Ова може да стане проблем ако ANFO се истури за време на операциите за полнење, ако е присутен и цемент. Тој исто така во големи количини е присутен во погоните за ладење, како оние што се користат за ладење на воздухот.

Ризикот од амонијак во рудник се контролира заради:

- идентификување на можни извори;
- соодветна вентилацијата во области каде што луѓето поминуваат или работат;
- минимална брзина за патеката - 0,3m/sec;
- преглед и следење;

- ограничување на пристапот;
- исклучување на зони околу минираниите локации;
- одложување на повторно влегување додека гасовите не се распрскани;
- активно да се распрснуваат гасовите со присилна вентилација;
- ракување и складирање експлозивни;
- повторен влез по детонација;
- ракување со цемент.

NH_3 може да се открие од страна на преносни детектори за гас или хемиски детектор со цевчиња. Стандардите за изложеност за NH_3 генерално на работните места се дозволена граница: 25 ppm, граница на изложеност 35 ppm.

❖ Други гасови

Други гасови, исто така, можат да се формираат или да се најдат во подземните работни простории. Некои гасови познати како азотни оксиди, исто така може да се формираат од страна на некои процеси во подземните рударски простории. Тие имаат многу силен мирис. Ниту еден од овие гасови обично не е проблем во работата во рудникот сè додека има добра вентилација. Сепак, се бараат подобри решенија, како што е предвидување на зачестеноста на појавување на гасови, избор на најпогодни дизајни, опции за контрола на емисијата на гасови за време на работењето и превенција за изливите на гасовите. Зголемена концентрација на гасови во рудникот може да настане во било кое време и на било која локација и може да варира во зависност од различни фактори како: дифузија, турбулентна дисперзија и истекување на подземните системи за вентилација.

2.3.3 Опасности од запаллив гас

Опасната област е дефинирана како област во која атмосферата е надополнета со доволни количини на запалливи или експлозивни гасови, јаглен

прав или пареа. Со цел да се иницира палење на таквите гасови мора да бидат исполнети три услови.

Мора да постојат минимални и максимални граници на концентрација на гас кои предизвикуваат запалување. Овие ограничувања се познати како најниската точка на овој опсег која се нарекува долна граница на експлозивност (*LEL*), и највисоката точка која е позната како горна граница на експлозивност (*UEL*). Со други зборови, концентрацијата на запалливи гасови, исто така мора да остане во рамките на определениот опсег во однос на процентот од волуменот. Експлозивните граници за палење на запалливи гасови во атмосферата се минимум 10-15% кислород (по волумен) кој мора да биде присутен, исто така премногу гас може да го намали кислородот потребен за согорување.

LEL-те обично се 2,1-5% по волумен на воздух (табела 8). Како што се зголемува температурата, постепено помалку енергија е потребна да се произведе оган. Мешавината на повеќе гасови придонесува за комплексност, па нивниот точен *LEL* мора да се утврди со тестирања.

Табела бр. 8 Експлозивни граници на различни типови на гас

Table 8 Explosive limits of different gas types

Експлозивни граници на различни типови на гас		
	LEL (% по волумен на воздух)	UEL (% по волумен на воздух)
Метан	5.0	15.0
Водород	4.0	75.0
Ацетилен	2.5	100
Пропан	2.1	9.5

Запаливите гасови имаат различни запаливи опсези, некои се многу големи, а другите се помали. Оние со поширок опсег обично се поопасни, бидејќи поголема количина на концентрација на нивоа може да се запали. Атмосферата во која нивото на концентрација на гас е под *LEL* (недоволно гориво за да се запали) е позната како премногу "чиста" за горење, а онаа во

која нивото на гас е над *UEL* (недоволно кислород да се запали) е премногу "богата" за да гори.

Со цел да се произведе пламен, мора да бидат исполнети три услови, треба да постои:

- извор на гориво (на пример, метан или бензин пареа);
- доволно кислород да оксидира или гори горивото, односно 10-15%;
- извор на топлина за да започне палењето.

2.3.4 Опасности од отровен гас

Отровен гас е оној кој може да предизвика оштетување на живи ткива, оштетување на централниот нервен систем, тешка болест или, во екстремни случаи смрт кога е проголтан, вдишан или апсорбиран преку кожата или очите.

Сумите кои се потребни да се обезбедат овие резултати варираат во голема мера со природата и времето на изложеност на одредена супстанција. Следењето на токсичен гас е важно, бидејќи ниту еден од овие гасови не е видлив, а некои од нив не произведуваат никаков мирис или не покажуваат знаци на итно здравствено дејство. Така, препознавањето на присуството на гас доаѓа премногу доцна, често откако по концентрација се достигнуваат штетни нивоа. Токсичните последици на гасови се движат од мали до многу штетни. Некои од нив се опасни по живот, дури и на кратка изложеност на ниско ниво, додека други се опасни само по голема изложеност на високи концентрации. Степенот на опасност за работникот зависи од неколку фактори, меѓу кои се нивото на концентрација на гас и времетраењето на изложеноста.

За подобрување на безбедноста за време на работата треба да се мери концентрацијата на гасовите. Со цел откривање на значајни промени во стапката на деформација и оценка на можните причини и последици, постои потреба за континуирано следење на гасовите и обезбедување навремено предупредување. *Слика 6* прикажува рушење на таванот заради притисоците

кои се јавуваат во јамата и честопати предизвикуваат оштетување на потпорите.



Слика бр. 6 Рушење на таванот,заради притисоците кои се јавуваат во јамата и честопати доведуваат до оштетување на потпорите

Figure 6. Breaking the ceiling because of the pressures that occur in the pit and often lead to damage the supports

2.3.5 Влажност на јамскиот воздух

Влажноста на јамскиот воздух претставува присуство на водена пареа во воздухот. Влажноста се изразува како апсолутна (количество на водена пареа во $1m^3$) и релативна (%). Во рудниците се мери релативна влажност. Најповолната влажност на воздухот, за продуктивна работа на работниците изнесува 60-70%. Негативното влијание на влагата врз човечката работоспособност се гледа во тоа што, ако воздухот е презаситен со водена пареа тој во себе не може да прима повеќе влага. При тешка физичка работа човечкото тело се загрева. Главно, ладењето на човечкото тело се врши со потење и испарување на потта од телото. Во заситен воздух со водена пареа не е можно испарување на потта па човечкото тело останува загреано, а со тоа се намалува работоспособноста на работникот.

Во рудниците со подземна експлоатација, има секогаш зголемена влажност на воздухот. Количеството на влага во воздухот зависи од повеќе фактори:

- температура и влага на атмосферскиот воздух;
- брзина на движење на јамскиот воздух;
- влажност на јамските простории и присуство на јамска вода;
- должина на провевните патишта и др.

3. СЕНЗОРИ

Клучен елемент во дизајнот на системот за откривање на гасови е избор на гас сензорите. Проблемите со нив се недостаток на флексибилност, лошо време на одговор и работа на покачена температура. Сензор (исто така наречен детектор) е конвертор што може да ја мери физичката количина и истата ја претвора во сигнал кој може да се прочита од страна на инструментот или набљудувачот. За да се избегнат несреќите во рудниците, сензори за гас се потребни за редовно следење на нивото на гасови, како: кислород, метан, јаглерод диоксид, јаглерод моноксид, итн [19]. Тие овозможуваат рано предупредување за експлозивни и отровни атмосфери на места каде рударите нормално работат.

Секој сензор има свои предности и ограничувања [20]. Некои сензори се наменети и подобро ги прикажуваат отровните гасови, додека други се погодни за детекција на запаливи гасови. Ова поглавје ги претставува принципите и примената на различни типови на сензори за гас, процедури за распоредување на сензори и калибрација, и анализирање на податоците добиени од сензорите.

3.1 Карактеристики на сензори за гас

Ефикасноста на сензорите се карактеризира со следните параметри [57]:

- *чувствителноста на сензорот* е неговата способност да се измерат мали промени во гас сензорот;
- *селективност на сензорот* е во неговата способност да реагира на одреден гас или група на гасови во присуство на разни други гасови;
- *стабилност на сензорот* е во неговата способност да ја задржи својата чувствителност, селективност и одговор, како и времето за обновување на одреден временски период;

- *долна граница на детекција* е најниската концентрација која може да биде детектирана од страна на сензорот под одредени услови, особено на дадена температура;
- *динамичен опсег* е спектар на концентрацијата помеѓу најниската точка на детекција и највисоката точка на детекција;
- *обновување на време* е времето што е потребно за сигналот на сензорот да се врати во неговата почетна вредност по промена на концентрацијата од одредена вредност на нула;
- *работната температура* е обично температурата која одговара со максималната чувствителност;
- *животен циклус* е период во кој сензорот функционира правилно.

Идеален сензор е оној кој поседува: (1) висока чувствителност, динамичен опсег, селективност и стабилност; (2) долна граница за откривање, (3) добра линеарност; (4) мал хистерезис и време на одговор; и (5) долг животен циклус. Сепак, ниту еден сензор за гас не ги поседува сите овие квалитети.

Изборот на сензори зависи од многу параметри, имено физички карактеристики на посакуваните гасови, условите во околината, потребната чувствителност, циклусот на одржување, начинот на кој работи итн. Три особини се потребни за сензорот за следење на гас: едноставен, сигурен и лесен за одржување. „Едноставен“ значи да не е премногу комплициран, прилагодлив на барањата на корисникот и поддржан од технологијата. „Сигурен“ укажува на способност за вклучување на алармот во вистински момент по детектирањето на гасот и да не го вклучува кога тоа не е потребно. „Лесно одржување“ се однесува на барањето за калибрација и отстранување на дефект.

За набљудување на безбедноста во рудникот потребно е да се мерат гасовите, влажноста и температурата на влезот и излезот од работната средина. Овој систем ги користи сензорите *DH11*, *MQ-2*, *MQ-7*, *MQ-135*.

Податоци за сензорите се претставени во *табела 9*. Со сензорот *DH11* мериме температура и влажност во просторијата, со *MQ-2* гасовите CH_4 , H_2 . *MQ-7* ја мери концентрацијата на CO . Додека со *MQ-135* се мери концентрацијата на CO_2 , NH_3 .

Табела бр. 9 Користени сензори нивна чувствителност и опсег на детекција

Table 9 Used sensors their sensitivity and range of detection

Сензор	MQ-2	MQ-7	MQ-135
Чувствителност на гасови	CH_4 , H_2 , LPG, CO , Алкохол, Чад, Пропан, Воздух	CH_4 , H_2 , LPG, CO , Алкохол, Воздух	Воздух, NH_3 , CO_2 , CO
Опсег на детекција	200-10000ppm	50-10000ppm	10-10000ppm

❖ Сензор (MQ135)

MQ135 е стабилен со ниска цена електрохемиски сензор за гас погоден за откривање на широк спектар гасови. Тој е погоден за откривање на NH_3 , алкохол, бензен и други гасови. За калибрација се преферира позната концентрација на измерениот гас. Излезот од *MQ-135* е аналоген сигнал и може да се чита со аналоген влез на Arduino. Arduino го чита и произведува излез во вредност кој е аналоген и не е многу корисен параметар. Затоа овие податоци треба да се конвертираат во ppm вредности.

Најпрво се прави, конверзија на аналогните вредности (0-1023) за соодветните вредности на напон (V_{out}) (0-5V) со помош на:

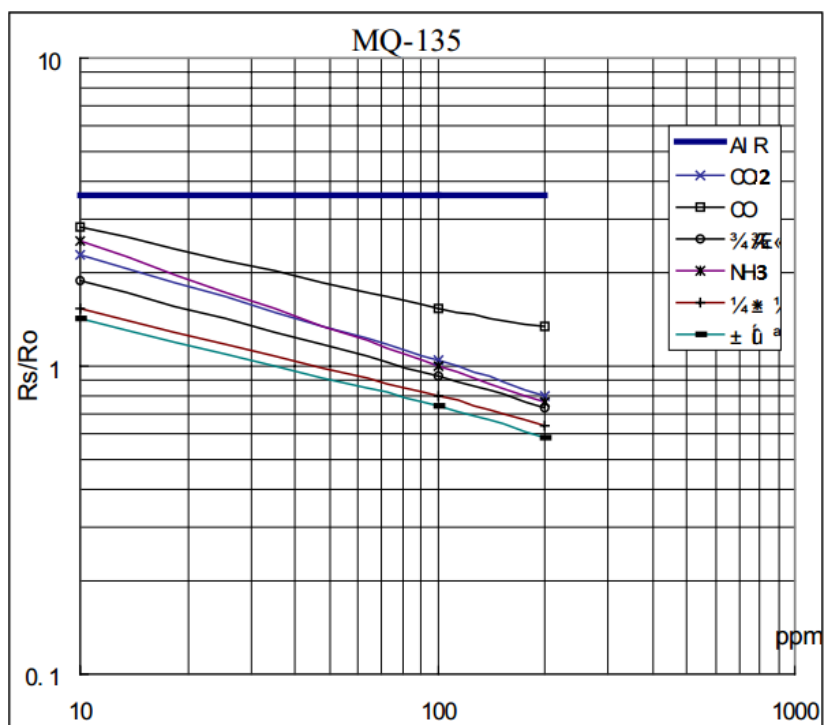
$$V_{out} = \frac{AnalogValue * 5}{1023}$$

Отпорноста (R_s) на сензорот *MQ135* во графикот е дефинирана како:

$$R_s = \left(\frac{V_{cc}}{V_{out}} - 1 \right) * R_L$$

$$= \left(\frac{1023}{AnalogValue} - 1 \right) * R_L$$

Карактеристиките за чувствителност на MQ-135 за неколку гасови се прикажани на слика 7.



Слика бр. 7 Чувствителност на MQ-135 (Темп.20°C, Влажност:65%, O₂:21%, RL=20k Ω)

Figure 7.Sensitivity characteristics of the MQ-135 (Temp.20°C,Humidity:65%, O₂:21%, RL=20k Ω)

Графикот се користи за претворање на излезот на сензорот во ppm физичка карактеристика за гасот.

$$y = a \cdot x^b$$

Па оттука,

$$ppm = a \cdot (Rs/Ro)^{1/b}$$

Со користење на степенска регресија, може да се добие факторот за скалирање (a), и експонентот (b), за гасот што сакаме да го измериме.

Потоа,

$$Rs = Ro \cdot \sqrt[b]{a/ppm}$$

За да се калибрира сензорот, треба да е позната количина на одреден гас, а потоа може да се прочита отпорноста на излезната вредност од сензорот

(R_s), и оттука може да се пресмета калибрирана вредност R_o . За добивање на R_o потребно е сензорот да е вклучен 24-48 часа. R_o се калибрира со користење на следнава равенка:

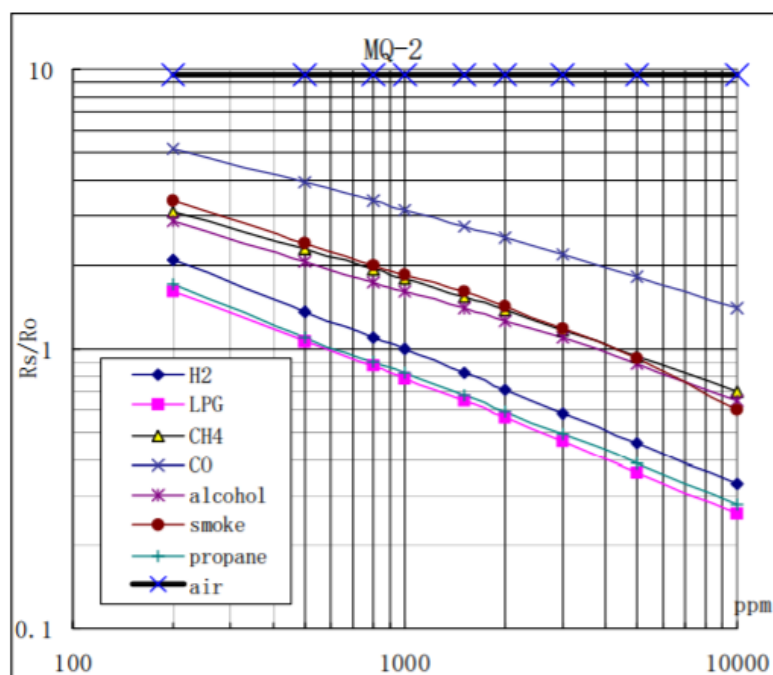
$$R_o = R_s \cdot \text{pow}(a/\text{ppm}, 1/b)$$

Графикот ни ја кажува концентрацијата за одреден гас, па може да се пресмета границата за R_s/R_o .

$$R_s/R_o_{\text{limit}} = (\text{ppm}/a)^{1/b}$$

❖ Сензор (MQ-2)

Кај MQ-2 спроводливоста на сензорот е повисока со зголемување на концентрацијата на откриениот гас (слика 8). Максималната работна температура на MQ-2 сензорот се движи од 300°C до 400°C, а концентрацијата за откривање се движи од 100ppm до 10000ppm. Неговата чувствителност е релативно висока, заа е можно откривање покрај природен гас и други штетни гасови, така што сензорот треба да се користи во индивидуални домаќинства и индустриско следење на истекување на гас и за откривање на гасови.

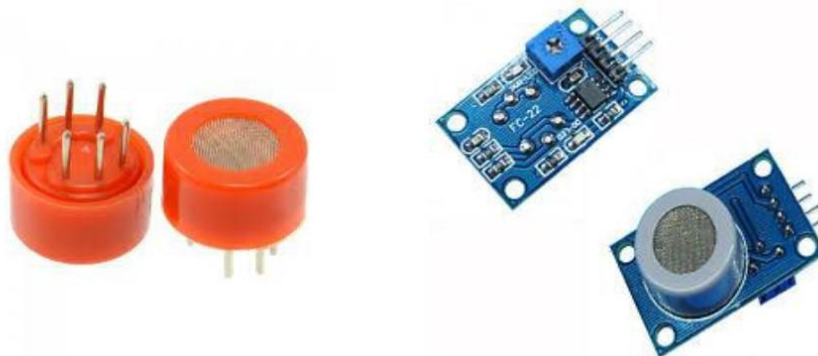


Слика бр. 8 Чувствителност на MQ7 (Темп.20°C, Влажност:65%, O₂:21%)

Figure 8. Sensitivity characteristics of the MQ7 (Temp.20°C, Humidity:65%, O₂:21%)

❖ **Сензор (MQ7)**

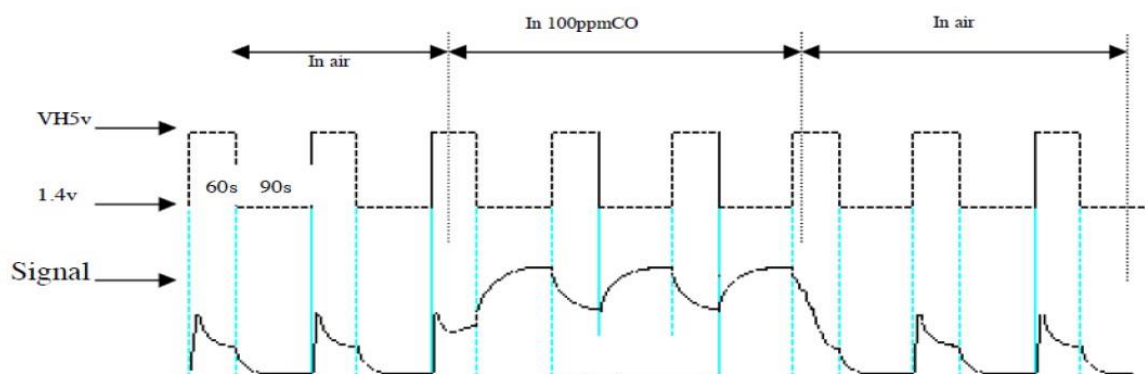
Сензорот MQ-7 (сл. 9) има висока чувствителност на јаглерод моноксид. Спектарот на откривање на овој сензор е од 10 ppm до 10000 ppm на јаглерод моноксид (сл. 11). Отпорноста на овој сензор зависи од концентрацијата на гас. Неговата отпорност варира од 2k- 20k Ω .



Слика бр. 9 MQ-7 сензор, MQ7 Модул

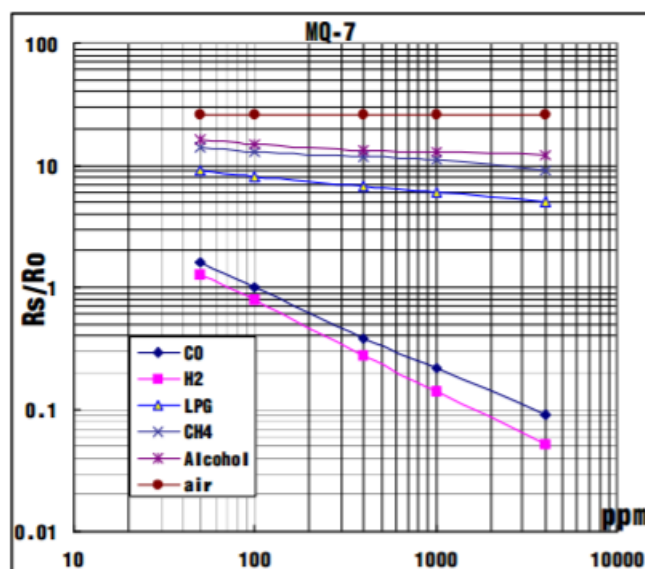
Figure 9. MQ-7 sensor, MQ7 Module

Една посебна особина на овој сензор е дека за затоплување се дава пулсирачко напојување. За 60sec се дава 5V напојување, а за следните 90sec се дават 1,4V напојување. Поради ова својство потрошувачката на енергија се намалува. Излезниот сигнал што одговара на пулсирачкиот напон (VH) е прикажана на сл. 10.



Слика бр. 10 го покажува излезниот сигнал како резултат на пулсирање VH

Figure 20. Output signal response due to pulsating VH



Слика бр. 11 Крива на чувствителност на MQ-7 за неколку гасови (Темп.20°C, Влажност:65%, O₂:21%, R_L=10k Ω, R₀: 100ppm, CO во чист воздух, R_S:различна концентрација на гасови)

Figure 11. Sensitivity characteristics curve of the MQ-7 for several gases (Temp.20°C, Humidity:65%, O₂:21%, R_L=10k Ω, R₀: 100ppm, CO in clean air, R_S: in various concentrations of gases)

Карактеристики:

1. Едноставено коло;
2. Чувствителност на запалив гас во широк спектар;
3. Долг животен век и ниска цена;
4. Висока чувствителност на природен гас.

❖ DHT-11 сензор

Овој сензор е за мерење на температура и влажност. Сензорот има голема сигурност и многу добра стабилност. Се користи за мерење на влажноста на воздухот, за компонента со негативен температурен коефициент. Се поврзува со микроконтролер и покажува одличен квалитет и брз одговор.

❖ Нулта проверка

Нулта проверка се врши за да се потврди дали сензорот чита вистинска нула (исто така позната како “основна”) во средина во која не е присутен целниот гас. Вообичаени ситуации во кои се врши проверка на нула вклучуваат:

- по изложувањето на сензорот на загадувач;
- по изложувањето на сензорот во многу висока концентрација на целниот гас;
- по изложеноста на сензорот за различни услови (на пример, нивото на влажност);
- по изложувањето на сензорот на екстремни услови (на пример, висока температура и влажност).

Ако не успее нулта проверката на сензорот тогаш треба да се изврши нулто прилагодување (каде сензорот ќе се прилагоди точно на нула).

4. ПРЕНОС НА ПОДАТОЦИ

Безжичната комуникација се појавува како независна дисциплина во изминатите децении. Сè, од мобилната телефонија до безжичниот пренос на податоци со користење на безжични сензорски мрежи има длабоко влијание на безбедноста, производството и продуктивноста на индустријата и нашиот начин на живот исто така. По една деценија од експоненцијалниот раст, безжичната индустрија е една од најголемите индустрии во светот [21].

Кај подземните рудници, кои се карактеризираат со тешки услови за работа и опасни средини, потребен е комуникациски систем за непречено функционирање во рудникот и обезбедување на поголема безбедност. Потребен е соодветен и сигурен комуникациски систем за детекција на гасови и брзо алармирање и спасување на рударите во случај на катастрофа. Затоа, сигурниот и ефикасен систем на комуникација е важен услов за безбедно работење и одржување на потребното производство и продуктивноста на подземните рудници. Поголемиот дел од постојните системи во подземни рудници се базираат врз принципот на жичена комуникација, па оттука тие не се во состојба да издржат во услови на катастрофи и тешко се распоредуваат во достапни места. Затоа, безжична комуникација е неопходна за сигурен и лесен систем кој е од суштинско значење за извршување на работните обврски и обезбедување на безбедносен систем.

Рударските компании се соочуваат со многу проблеми кои влијаат на нивниот развој и профитабилност. Еден од овие проблеми кои влијаат на развојот е недостатокот на ефективни, но сепак економски одржливи, комуникациски системи. Многу рудници сè уште користат застарени комуникациски технологии. Системот кој е предложен во оваа магистерска работа се фокусира на употребата на безжични технологии, поточно безжични сензори [58]. Подолу е листа на можни комуникациски технологии кои се достапни, истражени и детално опишани. Листата се состои од стари и нови технологии кои можат да се користат во рудниците.

Етернет мрежи (со користење на оптички кабел и UTP кабли)

Етернет мрежите може да бидат поврзани со широк спектар на кабли [59] но подобри перформанси се постигнуваат кога поврзувањето е со Fiber Optic во споредба со UTP кабли. Системот би бил подобро конфигуриран [60] доколку се користат оптички влакна што ќе се спуштаат по главната осовина на рудникот со прекинувачи поврзани со главното ниво до секое друго различно ниво. Со овие прекинувачи UTP оптичките влакна навлегуваат подлабоко во секое ниво.

Каблите со оптички влакна понекогаш се користат со директна врска без UTP кабли кои го делат сигналот. Етернет работи според IEEE стандардот 802.3 користејќи го методот CSMA/CD (Carrier-sense multiple access with collision avoidance- повеќекратен пристап со ослушување на носителот со откривање на судири) и спецификација на физичкиот слој [61]. Предностите и недостатоците за користење на оптички влакна и UTP етернет мрежи, се сумирани во табела 10.

Табела бр. 10 Предности и недостатоци на Ethernet (UTP и оптички влакна)

Table 10 Advantages and Disadvantages of Ethernet (UTP & Fibre Optic)

Предности	Недостатоци
- голем пренос на податоци (UTP-1Gbps; - Оптички влакна -10Gbps);	- каблите лесно може да се оштетат;
- на оптичките влакна нема влијание бучавата и рударска опрема;	- VoIP телефони не се многу функционални;
- овозможува VoIP (аудио пренос);	- сè уште не е многу популарна.
- лесна инсталација и висока компатибилност.	

Некои системи користат оптички влакна за комуникацијата и пренос на податоци во реално време. Со оптички влакна се нуди сигурен пренос на податоци на долги растојанија. Единствениот недостаток е тоа што влакната на оптичкиот кабел се многу тенки и слаби.

Power Line Communications (PLC)

Power Line Communications ги користи постојните далноводи во објектот како медиум за пренос на етернет мрежа [62]. Оваа технологија е исто така позната како Ethernet преку Power Line Communications. Оваа комуникација е многу солидна и може да поддржува високи брзини на пренос кои се идеални за употреба во рударската индустрија, но поради интерференција има ограничена употреба. Уредите се поврзуваат со електричната мрежа преку сидни приклучоци и други етернет кабли (обично UTP) кои се поврзани со уредот. Предностите и недостатоците поврзани со користење на Power Line Communications се опишани во табела 11.

Табела бр. 11 Предности и недостатоци на Power Line Communications.

Table 11 Advantages and Disadvantages of Power Line Communications

Предности	Недостатоци
- нема дополнителни кабли (ги користи постоечките далноводи);	- сигналите генерирани во далноводи можат да се мешат со други радио уреди;
- голем пренос на податоци (до 500Mbps) ;	- многу пречки и бучава од високонапонските машини при вклучување и исклучување.
- користи Етернет кој поддржува многу уреди.	

Wi-Fi (безжичен стандард)

Wi-Fi е многу популарен стандард за безжична комуникација и се користи за средна до висока брзина на пренос на податоци. Wi-Fi може да се интегрира во било која Ethernet мрежа или пак да се користи како самостојна мрежа на јазли [59]. Во секој дел од рудникот каде што е потребно безжично поврзување, безжичната пристапна точка ќе биде поврзана со Ethernet кабли или пак со соседниот јазол.

Wi-Fi технологиите, исто така, можат да се интегрираат со други комуникациски системи како што се дистрибуираните системи со антена и затоа не треба да бидат поврзани со Fiber Optic или UTP кабли. Wi-Fi работи

според IEEE 802.11 b, IEEE 802.11 g или IEEE 802.11 n стандардите и обично работи во опсег од 2,4 GHz. Wi-Fi е отворена архитектура [59], што значи дека секој уред што е компатибилен со Wi-Fi може да се поврзе со Wi-Fi мрежа (доколку уредот ги обезбедува потребните кодови за пристап). Предностите и недостатоците на користење на Wi-Fi во рудници се наведени во Табела 12.

Табела бр. 12 Предности и недостатоци на Wi-Fi.

Table 12 Advantages and Disadvantages of Wi-Fi.

Предности	Недостатоци
- големи брзини на пренос на податоци (54Mbps);	- кддалеченост од пристапната точка (<32м во затворен простор, <95м на отворено);
- поддржува Wi-Fi ознаки (прецизно следење);	
- поддржува VoIP (може да пренесе Аудио сигнали);	- VoIP телефони не се многу функционални.
- компатибилен со многу уреди.	

Wi-Fi е исклучително применлив во рударската средина, бидејќи нема жици кои би можеле да се оштетат. Ограничувањето на оваа технологија е тоа што не работи на долги растојанија (особено под земја) и технологијата која користи Wi-Fi, како што се VoIP телефони кои се многу осетливи во оваа груба средина.

ZigBee (Безжичен стандард)

ZigBee може да се смета за нов безжичен стандард и е наменет за комуникација со краток до среден опсег и мала брзина на пренос на податоци [63]. Стандардот е специјално дизајниран за сензори и други контролни уреди со ниска потрошувачка на енергија. ZigBee е базиран и е во согласност со IEEE 802.15.4 стандардот и обично работи во опсегот од 2.4GHz [63]. Предностите како и недостатоците на користењето на ZigBee во рударската индустрија се сумирани во табела 13.

Табела бр. 13 Предности и недостатоци на Zigbee

Table 13 Advantages and Disadvantages of Zigbee

Предности	Недостатоци
- користи малку енергија;	- мала брзина на пренос на податоци (20-250kbps);
- ниски трошоци за комуникација;	-ограничена достапност (нов стандард);
- поддржува разни топологии (како мрежа и ѕвезда);	-ограничен опсег (помеѓу 10 и 75м).
- ниска латентност (доцнење).	

Оваа технологија е многу економична бидејќи е евтина и бара мала моќност за работа. Исто така е многу прилагодлива и поддржува други уреди, но поради новите стандарди и ограничени опсези достапноста е проблем.

VHF(Leaky Feeder System)

Коаксијалните кабли делуваат како антени, како и главните линии за пренос на податоци и се инсталираат секогаш кога е потребна комуникација со работници или машини. Рипитерите (засилувачите) мора да се користат за зајакнување на сигналите секогаш кога се губи сигналот по должината на кабелот [64]. Системот Leaky Feeder користи радио сигнали за пренос на податоци во повеќето случаи, иако е можно да се користи за етернет мрежа со оглед на тоа што се користи технологија со модем [59]. Leaky Feeders е добро воспоставен систем кој се користи повеќе од дваесет години во многу рудници. VHF Leaky Feeder системот е многу сеопфатен и постојат различни предности и недостатоци за негово користење посебно во рударската индустрија. Овие предности и недостатоци се наведени во табела 14.

Табела бр. 14 Предности и недостатоци на VHF

Table 14 Advantages and Disadvantages of VHF Leaky Feeder

Предности	Недостатоци
- проверен и тестиран систем;	- се бара линија на видливост;
- компатибилен со комерцијални	- скапа технологија;

двосмерни радија;	
- засилувачи со централно напојување;	- каблите можат да се скинат;
- кабелот дејствува како антена;	- ограничувања на капацитетот на податоците (освен ако не се користат како модем) ;
- може да се користи со Ethernet мрежа;	
- помалку загуби во сигналот од UHF;	- потребни се многу засилувачи;
- подолго растојание помеѓу засилувачите од UHF.	- потребна е резервна моќност.

VHF Leaky Feeder системите веќе долго време се користат и се покажаа како ефикасни. Нивната конструкција има повеќе предности и технологијата е компатибилна со разни уреди. Главните ограничувања се дека капацитетот за податоци не е многу голем и технологијата е скапа за купување и одржување. Иако користењето на жицата има предности, таа, исто така, воведува дополнителни трошоци како што се засилувачите и задолжителните резервни системи за напојување.

➤ Топологии

Мрежите се состојат од голем број на уреди наречени јазли. Јазлите се наредени различно, пример господар(master)/роб(slave) мрежи, точка до точка мрежи, ѕвезда мрежи, mesh мрежи, прстен мрежи итн [22].

Свезда топологија

Свезда топологија е единствен систем во кој сите безжични сензорски јазли комуницираат двонасочно со порталот. Свезда топологиите се најлесни да се постават и управуваат. Ова овозможува лесно поврзување кај мали мрежи, но хиерархиската шема со повеќе под-мрежи треба да се провери кога ќе се постигне максималниот број на јазли. Ако еден јазол не успее во конфигурацијата ѕвезда, тоа не влијае на другите јазли и комуникацијата, освен ако тоа не е централниот јазол. Додавање на повеќе јазли е лесно и може да се направи без прекинување на работата на мрежата. Централниот јазол може да биде компјутер или вграден уред, кој комуницира и пренесува податоци и команди меѓу јазлите или пренос на податоци до некоја апликација или друга

мрежа како пренос на интернет. Јазлите не пренесуваат податоци или команди едни на други директно, тие го користат централниот јазол како координативна точка каде што е концентриран целиот проток на податоци. Меѓу безжичените сензорски мрежни топологии, свезда топологијата има најниска вкупна потрошувачка на енергија, но е ограничена во преносот на далечина од секој јазол назад кон централниот.

Mesh топологија

Mesh топологијата го поврзува секој јазол со сите јазли во рамките на својот опсег. Таа има потенцијал за намалување на потрошувачката на енергија во споредба со другите топологии кои се користат на долги растојанија, бидејќи секој јазол може да воспостави врска со најблиските соседи. Во оваа топологија ако еден јазол не успее е многу погодно, бидејќи има и други јазли за да продолжи комуникацијата. Сепак, потребно е јазлите секогаш да се оперативни, бидејќи тие можат да бидат дел од патот помеѓу било кој друг јазол.

Секој јазол дејствува како рутер за соседните јазли. Mesh мрежата има две единици: целосна Mesh топологија и делумна Mesh топологијата. Во топологија целосна мрежа секој јазол е поврзан директно со секој од другите. Во топологија делумна мрежа некои јазли се поврзани со сите други, но некои од јазли се поврзани само со други јазли со кои разменуваат најмногу податоци.

Mesh мрежите се мрежи кои се состојат од јазли каде сите се поврзани едни со други преку различни патеки за поврзување, формирајќи една мрежа [65]. Овие јазли можат да бидат безжични или поврзани со жици и секој јазол може да се користи како домаќин [59]. Ова би значело дека ако еден јазол не успее, ова нема да влијае на ниеден друг јазол и само тој специфичен канал за поврзување ќе биде изгубен. Соседните јазли едноставно ќе најдат друга рута преку мрежната за да комуницираат. Поради оваа уникатна функција мрежите се многу сигурни. Технологиите што се користат за поврзување на јазли варираат од Wi-Fi и UHF до коаксијални, UTP и оптички кабли. Предностите и недостатоците на овој систем се сумирани во табела 15.

Табела бр. 15 Предности и недостатоци на Mesh мрежи

Table 15 Advantages and Disadvantages of Mesh Networks

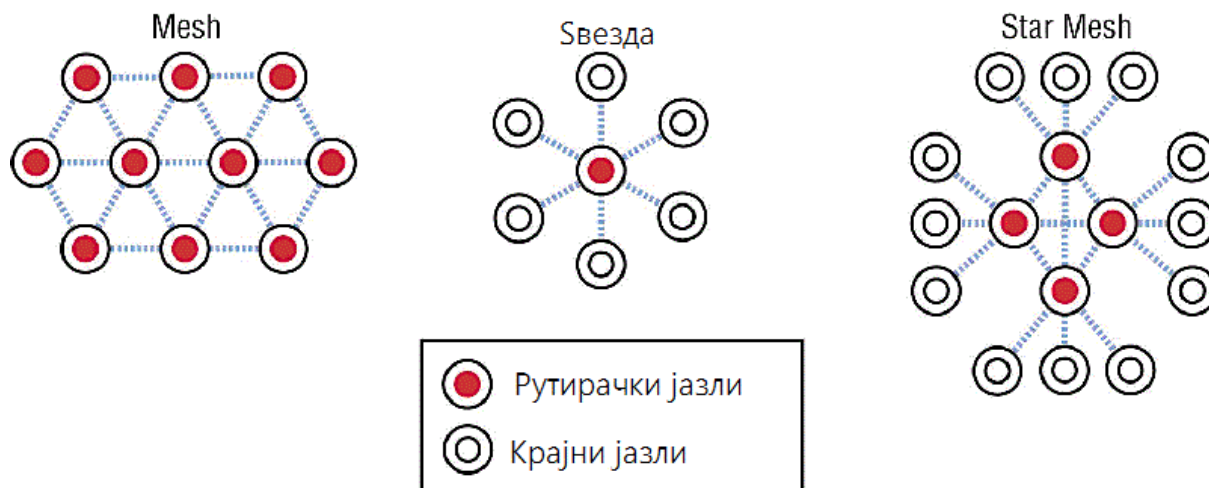
Предности	Недостатоци
- брза и лесна инсталација;	- ранливи на прекините;
- висока флексибилност;	
- робустен систем;	- потребни се голем број на јазли;
- јазли може да се напојуваат со батерија;	
- високи стапки на податоци;	- јазлите мора да се преконфигурираат.
- не се погодени од пречки.	

Главната предност на овој систем е тоа што е многу сигурен и сè уште ќе функционира во случај кога одредени јазли ќе пропаднат. Не постои централна контролна точка која ја елиминира можноста за целосен неуспех поради еден мал проблем. Исто така е многу стабилна и поддржува брзини на пренос кои не се под влијание на пречки. Брзата инсталација и високата флексибилност исто така ги прави многу популарни. Ограничувањата за правилно функционирање на овој систем се дека програмирањето мора да се направи правилно и мора да има многу голем број на јазли за да се обезбеди да се создадат алтернативни патеки.

Хибридна топологија

Кај некои мрежни топологии кои се користат за безжични сензорски мрежи имаат хибриден модел кој е комбинација од претходните топологии, со цел да се создадат поголеми мрежи. Во овој случај јазлите служат за да се прошири опсегот на мрежата. Јазолот може да комуницира со повеќе други јазли, но ако тој не успее или ако врската оди надолу (на пример последица на пречки или недостаток на батеријата), мрежата ќе се реконфигурира околу останатите јазли.

На следната слика (слика 12) може да се види формирање на Mesh и звезда топологија во хибридна звезда мрежа (*Star Mesh hybrid*).



Слика бр. 12 Mesh и ѕвезда топологија во хибридна ѕвезда мрежа

Figure 12. Mesh and star topology in Star Mesh hybrid

Начинот на избор на комуникација во рамките на операцијата би бил комбинација на ZigBee и Wi-Fi. ZigBee ќе биде висококомпатибилен со сензорите за животната средина. Wi-Fi ќе се користи за комуникации со повисок пропусен опсег, како што се гласовна комуникација (VoIP телефони). Двете ZigBee и Wi-Fi исто така се директно компатибилни со Ethernet мрежите и бараат само пристапна точка поврзана со Ethernet мрежата.

Совршена комуникациската технологија од почеток до крај би била Ethernet мрежа, поради неговата компатибилност со Wi-Fi и ZigBee. Користењето на физичкото каблирање би било избор помеѓу UTP и Optic Fiber во зависност од барањата за пропусен опсег на системот. Оптичките влакна ќе бидат добар избор за 'рбетот за комуникацискиот систем, поради високата стапка на пренос на податоци. Безжичните точки за пристап, исто така би можеле да бидат поставени на стратешките точки по должината на линијата за да се обезбеди комуникација сè до крајот.

Алтернативна комуникациска технологија од би била Mesh мрежа со користење на Wi-Fi како носач. Ова нема да има ист пропусен опсег како кабелска Ethernet мрежа, но има предност бидејќи нема кабли што може да се скинат и да предизвикаат загуба во комуникацијата. Резултатите од процесот

на евалуација се користат за да се одредат можните решенија во однос на проблемите со комуникација со кои се соочуваат.

Подземната рударска операција се покажа како ризичен потфат во однос на безбедноста и здравјето на работниците. Овие ризици се должат на различни техники кои се користат за екстракција на различни минерали. Колку е подлабок рудникот, толку е поголем ризикот. Овие безбедносни прашања се од голема грижа, особено во случај на индустриите за јаглен. Жичаните мрежни системи беа тренд за традиционалните рудници за јаглен, кои навистина играа значајна улога во безбедното производство во рудници за јаглен. Со континуирано проширување на експлоатирачките подрачја и проширувањето на длабочината настанала слепи зони, каде што се скриени бројни невидени опасности. Покрај тоа, не е можно таму да се постават скапи кабли, што исто така одзема многу време. Од суштинско значење е да има мрежен систем за следење на безжичен сензорски мрежен систем, кој може да се отстрани во вакви рудници, со цел да имаат безбедно производство. Нема потреба од кабли кои треба да се постават и лесна инсталација во слепи области, намалувајќи ги трошоците за системот за следење. Бројот на јазли може да се зголеми за да се елиминираат слепите области. Исто така, нуди општа комуникација и распределба на целта. Рударската средина често има скриени опасности во рамките на токсични гасови што може да претставува сериозна изложеност на здравјето на луѓето кои работат во рудникот.

Безжична сензорска мрежа базирана на ZigBee технологијата е безжична мрежа која е составена од многу јазли на RF чип, сензор и MCU, особено се погодни за примена на системот за далечинско набљудување во запалива и експлозивна средина. Комуникациските системи играат важна улога во обезбедувањето на персоналот и оптимизирање на процесот на рударство.

Етернет мрежите (двете оптички влакна и UTP сорти), како и Leaky Feeders се најчесто користените комуникациски методи во современите рудници. Покрај мерењето и следењето, овие технологии, исто така, ги следат рударите под земја, комуницираат и ги оптимизираат графици преку следење. Каблите, исто така, најчесто се оштетени со сеизмичка активност (т.е.

камени падови) и нормална рударска активност. Доколку кабелот е оштетен, ја оневозможува комуникацијата, со што загубата на продуктивноста ќе биде директно пренесена во загуба на профитот.

Рудниците се динамична средина во смисла дека тие постојано се менуваат и често се шират, а со карпестата маса што го спречува ширењето на радиосигналите станува уште потешко да се изнајде трајно решение за комуникација и да се дојде до прифатлива цена.

4.1 Безжична сензорска мрежа

Главните недостатоци на кабелските системи за следење се нивните трошоци за одржување и нивната голема побарувачка на кабли, кои го ограничуваат начинот на кој системот може да бидат распореден. WSN пак, овозможува лесно распоредување на сензорски јазли секаде каде што се бара и обезбедува висок степен на флексибилност и лесно одржување.

Безжичените сензорски мрежи се канали, каде што може да се пристапи на податоци од физичкиот свет и истите да се користат од страна на секаков уред. Со брзиот технолошки развој на сензори WSN ќе стане клучна технологија за IoT [23].



Слика бр. 13 Процес на работа на сензорски мрежи

Figure 13. Working process of Sensor Networks

Безжичната сензорска мрежа (слика 13) овозможува активатори, мерачи, и сензори за следење и контрола безжично. Тие не се скапи за инсталација и одржување како што се бакарните или фибер-оптичките кабли.

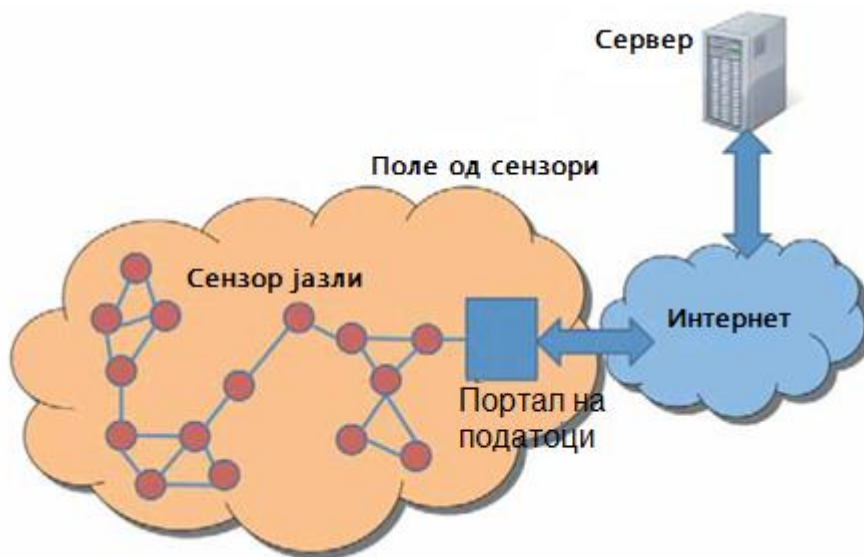
Елементи на сензорските мрежи се:

- јазли;
- порта на податоци (gateway);
- комуникација и следење на податоци.

WSN (Wireless Sensor Network) е мрежа формирана од голем број на сензорски јазли, каде секој јазол е опремен со сензор за откривање физички феномени, како што се: светлина, топлина, притисок во различни локации итн. Овие сензорски јазли се поставени и комуницираат еден со друг за да се формира мрежа (слика 14). Безжичната сензорска мрежа е многу потребна за апликации како далечинско следење на работната средина [24, 25]. Секој сензорски јазел е мал, лесен и пренослив, опремен со микропроцесор, предавател и извор на енергија.

Предавателот прима команди од централниот јазел и ги пренесува податоците. Енергијата за секој сензор е добиена од батерија. Безжичните сензорски мрежи (*WSN*) се користат во разни апликации за следење [26]. Во работната средина имаат цел: (1) гарантирање на прецизна и брза реакција на сензорот; и (2) пренос на податоци од сензор јазлите до централниот дел на мрежата во случај на покачена концентрација на штетен гас.

Безжичните сензорски мрежи (*WSN*) се колекции од сензори и уреди за пренос кои вклучуваат апликации, следење на животната средина (набљудување на поплави, активни вулкани), сигурност и безбедност (следење на радиоактивни материјали, шумски пожар, и згради), здравје (паметен систем за лекови), контрола (контрола на светло во тунели).



Слика бр. 14 Безжичната сензорска мрежа

Figure 14. Wireless Sensor Network

4.2 Облак системи

Облак апликацијата им овозможува на клиентите пристап до мрежата без потреба од инсталација на софтвер за лично ниво, и до истата може да се пристапи од било каде преку интернет. Ова поглавје објаснува детали за облак компјутерската технологија, вклучувајќи и модели за распоредување, карактеристики, статус на спроведување и примена во рудниците.

Интернет апликациите користат интернет протокол верзија 6 (*IPv6*) и се во можност да комуницираат со уреди прикачени на речиси сите човечки објекти, на исклучително голем адресен простор на *IPv6* протокол. Целта на IoT е да се поврзат различни предмети во секое време и на секое место, по можност со користење било која мрежа и услуги [66, 67].

Облак системите кои се најновите верзии на компјутерски модели имаат практична револуција во информатичката технологија [27]. Тие се разликуваат од другите програмски парадигми поради нивните уникатни карактеристики, како што се: способноста да се справат со масивни податоци, моќ на виртуелизација, приспособливост, еластичност, флексибилност, способност за групирање на ресурсите и безбедност. Покрај тоа, тие се многу ефективни и

употребливи за поединци, како и индустрии [28]. Ресурсите кај облак компјутерите на корисниците им се достапни врз побарувачката и траењето. Покрај тоа, имаат многу ниска почетна инвестиција и намалување на оперативните трошоци.

Предности на облак компјутерската технологија

Облак компјутерите одамна се едни од најголемите успеси на интернет, кои направија револуција во многу голем број на индустрии преку подобрување на работата, ефикасноста, точноста итн. Рударските организации кои користат облак технологија може да постигнат огромно подобрување во работењето, како и враќање на придонесите за инвестициите. Облак компјутерската технологија може да има важна улога во зголемување на продуктивноста, управување со катастрофи, набљудување на рудникот и работната средина, како и водење надзор на рударски области главно за да се спречи нелегален превоз на минерали.

❖ Намалување на трошоците

Облак компјутерите ги минимизираат трошоците за стекнување, доставување и усвојување на идните технологии. Тие им овозможуваат на малите и средните претпријатија да купат само компјутерски услуги кои им се потребни отколку да инвестираат во сложени и скапи ИТ инфраструктури. Облакот е платформа каде што корисниците може да го менуваат барањето според сопствениот избор.

❖ Приспособливост

Обемот на облак компјутерите е голем и може да се прошири динамично за да се задоволи потребата. Облак услугите и компјутерските платформи можат да бидат прилагодени низ географските локации, хардверските перформанси и софтверските конфигурации. Облак интерфејсите се независни од локацијата и може да се пристапи од страна на вебсервиси и вебпребарувач. Во дистрибуиран и заеднички режим, облак компјутерите овозможуваат на повеќе корисници и апликации да работат поефикасно со намалување на трошоците преку споделување на заедничка инфраструктура.

❖ **Мобилен пристап**

Облак компјутерите овозможуваат пристап до моќните компјутери и складирање ресурси со мобилен телефон. Трошоците за машини кои се користат во рударството се зголемува, се создават можности за користење на ИТ за оптимизирање на употребата на опремата и зголемување на производството.

❖ **Анализа на податоци во реално време**

Скалабилниот карактер на облакот значи дека дополнителни ресурси може да се додадат во било кое време. За големи множества на податоци, големо складирање и еластични компјутери се овозможува анализа на податоците во реално време.

❖ **Безбедност на податоци, согласеност, како и достапност**

Рударски компании со чувствителни информации, како лизгање на земјиште, набљудување на штетни гасови, алармирање и обработка на производот.

❖ **Amazon Web Services (AWS)**

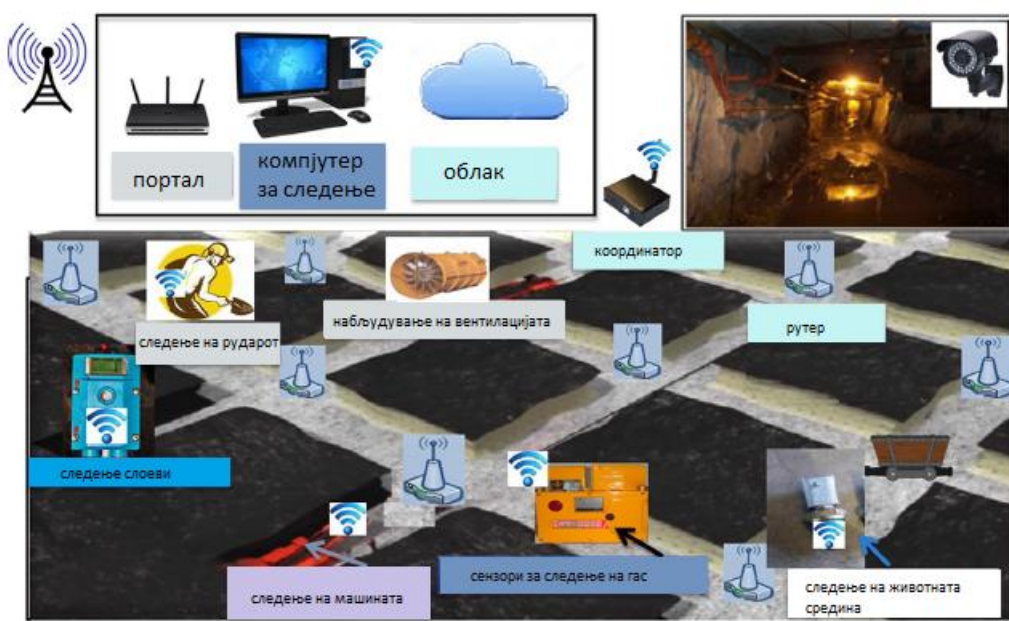
Amazon Web Services (AWS) [29] е еден од најголемите трговци на интернет и тоа е исто така еден од главните добавувачи на услуги за развој на облак. Тој е комерцијален обезбедувач на веб сервис која им овозможува на програмерите и компаниите изнајмување простор на облак од серверите на Amazon.

4.2.1 Примена на cloud computing технологијата во рударската индустрија

Облак технологијата може да се користи за следење на различни активности на подземни и површински рудници со интегрирање на различни видови на сензори и актуатори со помош на мрежи. Сензорите собираат податоци од работната средина. Мрежата им овозможува лесно користење на патот за пренос на податоци од изворното место до крајните корисници преку облак компјутери.

Рударската индустрија, која се соочува со неколку предизвици на различни комплексности, може да ги користи придобивките на оваа технологија

во различни области. Некои области, каде што облак компјутерите се применливи во рударската индустрија (слика 15) се: (1) автоматизација на рудникот, (2) управување со безбедноста, (3) проценка и управување на влијанијата од работната средина, (4) моделирање на работната средина на рудниците, (5) проектирање на рудникот, (6) управување со енергетска ефикасност, (7) следење на рударите, (8) следење на состојба на опремата и (9) далечински операции.



Слика бр. 15 Облак и IoT базирани уреди во подземен рудник

Figure 15. Cloud and IoT enabled devices in underground mine

Со користење на интернет на нештата се прикажуваат реалните услови во рудникот на екранот на компјутерот. Состојбата е создадена преку основа на интернет на нештата (IoT), со цел добивање и следење на различни параметри во рударството [68, 69]. IoT обезбедува инфраструктура за набљудување, собирање, обработка и примена на стекнатите информации со помош на сензори, активатори, видео надзор, итн. Така, се отвори нов простор за подобрување на производството, обезбедување на безбедноста на рудниците и рударите, и обезбедување на безбедни работни средини во рудниците.

5. ПОСТОЕЧКИ СИСТЕМИ ЗА МЕРЕЊЕ НА ШТЕТНИТЕ ФАКТОРИ

5.1 Инструменти кои служат за мерење на штетните фактори

Поради штетното влијание од влажноста во воздухот врз продуктивноста на работниците, треба постојано да се врши нејзино мерење. Доколку има зголемување на влажноста во воздухот треба да се преземат соодветни мерки. За нејзино мерење во јама се користат повеќе инструменти, како што се: гасдетектори со цевчиња, асманов психрометар, дигитални анемометри и др.

❖ Асманов психрометар

Асмановиот психрометар (слика 16) е инструмент со кој се мери релативната влажност на воздухот. Се состои од: вентилатор, два термометри сместени во двокрака цевка, штитници за термометрите и клуч за вентилаторот. Со навивање на вентилаторот почнува да навлегува воздух во двете цевки и поминува покрај термометрите. Термометрите ја мерат температурата. Едниот е сув, а другиот е влажен (се става вата натопена со вода кај резервоарот со жива). Воздухот поминувајќи низ вратата прима влага. На двата термометри ќе се јави различна вредност на температурата (температурата на влажниот воздух е пониска за неколку степени од температурата на сувиот воздух).

Во случај кога воздухот е заситен со водена пареа, воопшто нема да прими влага и на двата термометри ќе има иста температура. Со ова не е завршена постапката. За да се определи колкава е влажноста на воздухот со овие вредности, од психрометарската таблица се отчитува релативната влажност на воздухот. Релативната влажност претставува степен на заситеност во воздухот со водена пареа. Ако влажноста на воздухот е 100% тоа значи дека и двата термометара покажуваат иста температура. За јамски услови релативната влажност не смее да ја поминува границата преку 70%.



Слика бр. 16 Асманов психрометар

Figure 16. Assmann psihrometar

❖ Гас детектори со цевчиња

Гас детектори со цевчиња се едни од најпознатите и едноставни форми за откривање на гас. Детекторите на гасови со цевчиња се лесни за употреба, имаат ниска цена, со што се овозможува да бидат распоредени во сите индустрии. Тие се најефективни како уреди за спроведување проверки на лице место, што дава податок дали одреден гас е присутен во тој момент.

Системот е составен од рачна пумпа со која се пумпа воздух за земање примероци од воздухот за детекција (слика 17). Цевчињата наменети за откривање на гас се стаклени цевки, кои се полни со хемиски реагенс кој го апсорбира и реагира со посакуваниот гас.

По детекцијата се создава колориметриска дамка (промена на боја). Кај повеќето детектори со цевчиња, концентрацијата се чита директно од скалата за мерење на секое цевче.



Слика бр. 17 Гас детектор со цевчиња

Figure 17. Gas detector tubes

❖ Drager X-am 5000

Drager X-am 5000 припаѓа на новата генерација на гас детектори, развиени специјално за примена на лице место. Најмалиот инструмент за откривање на гас е за најмногу до 5 гасови. Различни гас детектори мерат различни до 5-запаливи гасови и испарувања, како кислород и штетни концентрации на CO, H₂S, CO₂, O₂, NH₃, NO₂, амини и органски испарувања. Drager X-5000 е со дизајн на мобилен телефон и мала тежина за да биде удобен и практичен за корисниците кои го носат (слика 18).

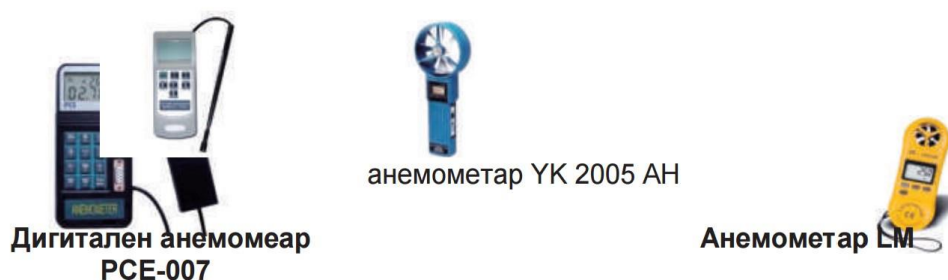


Слика бр. 18 Drager X-am 5000

Figure 18. Drager X-am 5000

❖ Анеометри

За да се обезбедат поволни услови за работа и да се зголеми продуктивноста при работа треба постојано да се врши мерење на брзината на движење на воздухот. За мерење на брзината на движењето на воздухот се користат инструменти анеометри. Постојат повеќе видови на анеометри (слика 19). Најновите дигитални анеометри мерат и температура на воздухот и брзина на движење на воздухот. Сите измерени вредности се меморираат и потоа можат да се внесат во компјутер. Откако ќе се измерат повеќе вредности, тие подоцна можат да се анализираат. Вентилаторот е поставен на кабел со должина од 1,5m кој овозможува поголема флексибилност при работата.



Слика бр. 19 Различни видови на анометри инструменти за мерење на брзината на движење на воздухот
Figure 19. Different types of anometar instruments for measuring the speed of movement of air

❖ Кататермометар

За мерење на повеќе фактори (температура, влажност и брзина на движење) истовремено се користи кататермометар (слика 20). Ова е многу едноставен инструмент кој се состои од стаклена цевка во која има обоен алкохол, и е сличен на термометар. Се разликува само по скалата која ја има на цевчето ($35-38^{\circ}\text{C}$).



Слика бр. 20 Кататермометар
Figure 20. Katatermometer

5.2 Претходни системи за откривање на штетни гасови

Постојат неколку претходни системи за следење на гасови што користат различни технологии кои се истражени и анализирани.

Yu и соработниците (2005) [30] предложиле систем за откривање на пожар во реално време во шумите врз основа на безжична сензорска мрежа.

Joseph и соработниците (2007) [31] се фокусираат на проблеми и опасности од пожар во библиотеки или архиви и опишуваат систем за донесување на неопходните превентивни мерки. Ги идентификуваат

различните параметри кои се применуваат за откривање на пожар и системи за алармирање и исто така, предвидуваат стратегии за избор и поставување на идеален систем за алармирање при пожар.

Fischer (2007) [32] опишува техника на симулација и ја применува за дизајнирање на систем за откривање на пожар. Овој систем кој е наменет за детектирање на пожар, исто така, разликува пожар во споредба со лажна тревога во случај да нема пожар.

Tan и соработниците (2007) [33] дизајнирале систем кој се применува за следење на безбедноста во рудникот. Тие користат безжична сензорска мрежа како основа на системот за безбедност во рудникот. Овој систем е способен за следење во реално време на работната средина во рудникот и обезбедување на претходно предупредување при пожар или експлозија.

Niu Xiaoguang и соработниците (2007) [34] претставиле прототип на дистрибуирана хетерогена хиерархија на безбедносен систем за следење во рудници (HHMSM). Овој систем ја следи концентрацијата на метан и локацијата на рударот. Тие предложиле решение базирано на адаптивен систем за собирање на податоци.

He Hongjiang и соработниците (2008) [35] дизајнирале систем со користење на ниска моќност APM процесорски чип S3C2410 како контролен систем и Zigbee како платформа за комуникација на WSN. Овој систем е опремен со APM процесор со ниска моќност, S3C2410 чип како контрола на јадрото, ZigBee како платформа за комуникација на безжична мрежа и сензори за следење.

Zheng Sun и соработниците (2008) [36] анализираат проблеми за следење на безбедноста во рудникот и подобрување на TinyOS сигнализација базирана на WSN. Овој протокол освен енергијата и поправка на патот автоматски, исто така, може да го спречи бројот на деца јазли и тоа на ниво на системот.

Lin-Song Weng и соработниците (2009) [37] предложиле систем базиран на RF безжична мрежа, кој се користи за следење на сите околности во рудникот, особено за безбедноста на рударите. Системот го нарекле помошен систем за следење во реално време во рудниците (RMAMS).

Помошниот сензорски систем во рудникот се состои од интелигентен сензорски систем и засилувач како и решение за решавање на постапката на обработка.

Hua Fu и соработниците (2009) [38] проучувале непрецизирана (*fuzzy*) теорија и невронска мрежна технологија, и со користење на овие информации дизајнирале интелигентна *fuzzy* невронска мрежа за системот. Со оваа технологија може да се направат точни предвидувања на различни параметри.

Shi Wei и соработниците (2009) [39] дизајнирале систем за следење на повеќе параметри во рудникот кој се базира на *WSN* мрежа. Овој систем користи *RS-485* комуникациски протокол и модуларен хардвер. Тој автоматски испраќа предупредувачки сигнали до главната контролната соба и остварува соодветна контрола.

Wenge Li и соработниците (2009) [40] дизајнирале систем за далечинско следење и анализа на параметри во рудниците со користење на технологија на виртуелни инструменти, мрежна технологија и бази на податоци. Овој систем се состои од сензори, далечински клиенти, набљудувачки центар на земјата и подземна подстанција. Клиентот од далечина преку *Internet Explorer*, може да ги гледа податоците од интерес, како што се: температурата, бензин, брзина на ветрот, јаглерод моноксид и така натаму. Податоците од системот се чуваат и до нив се пристапува користејќи *ADO* во *LabVIEW*.

Hongmei Wu и соработниците (2010) [41] предложиле систем за далечинско следење на рудничкото возило врз основа на безжична сензорска технологија. Оваа шема користи сензорски јазли, распоредени на возила за добивање на брзината, километражата, притисокот, нивото на масло, како и податоци базирани на информации за обработка на терминалот.

Ge Bin и соработниците (2011) [42] предложиле метод за надгледување на рудници за јаглен со користење на *Zigbee* технологија. Овој систем мери различни безбедносни фактори при производството, како: гас, температура, влажност и други показатели на работната средина.

Cheng Bo и соработниците (2012) [43] предложиле веб услуги за подобрување на безбедноста во рудниците со јаглен при следење и контрола на автоматиката со користење на *WSN* мрежа. Овој систем може да ги собере вредностите на метан, температура, влажност и лични информации за позицијата во рудникот.

Rajkumar Boddu u соработниците (2012) [44] дизајнирале систем за следење во рудник со јаглен со користење *Zigbee* базиран на *GSM* технологијата. Целта е да се подобри безбедноста и да се намалат несреќите во рудниците за јаглен. Тие предложија решение погодно за безжична комуникација во рудникот, како и следење на безбедноста со користење на оваа шема.

Isaac O. Osunmakinde (2013) [45] проучувал различни видови на отровни гасови во опасни региони и условите и движењата во воздухот со цел да се спречат заболувања на рударите. Тој развил автономен систем за далечинско набљудување со користење на *WSN* кој го комбинира *Омовиот (Ohm)* закон и мобилните уреди со покажувач, заедно со контролна интелигентна соба за управување и донесување одлуки за рударите. Системот обезбедува претходно предупредување за заштита.

Mohit Kumar u соработниците (2013) [46] предлагаат безжична контрола и систем за набљудување за индуциски мотор врз основа на *Zigbee* комуникациски протокол за безбедна и економска комуникација со податоци за индустриски области, каде што жичената комуникација е поскапа или невозможна поради физички услови. Овој систем ги следи параметрите на индукција на машина за пренос на податоци. Системот кој е базиран на микроконтролер се користи за собирање и складирање на податоци и според тоа се генерираат контролни сигнали за да се запре или започне безжичната индукција на машината преку компјутерски интерфејс развиен со *Zigbee*.

Mr. Kumarsagar u соработниците (2013) [47] дизајнирале безжична сензорска мрежа со помош на *MSP430xx* контролер, кој следи чад, гас, температура и влажност во подземен рудник. Овој систем исто така ја контролира вентилацијата во зависност од податоците кои се следат. Исто така користи безжичен предавател *Zigbee* за далечинско евидентирање на податоците во една централна локација за контрола на состојбата во работната средина со помош на мотор и вентил за контролните кола.

Berardo Naticchia u соработниците (2013) [48] предложиле инфраструктура на помал систем за следење во реално време за да се обезбеди навремена помош за контрола на здравјето и заштита на градилиштата. Тие тестирале специфични апликации на следење, мешање

помеѓу тимови кои работат на големи градилишта. Системот е способен на алармирање при појава на влијанија и било какво неочекувано однесување.

Zhang Xiaodong u соработниците (2014) [49] ги претставиле проблемите и големиот недостаток на постоечкиот систем за следење во рудникот за јаглен. Го испитувале планот и имплементацијата на платформа за далечинско следење и контрола на производството во рудникот за јаглен.

Yogendra Singh Dohare u соработниците (2016) [50] претставиле мобилен безжичен систем со ниска цена, ниска моќност за подземно следење на работната средина во рудникот, развиен со користење на ZigBee протоколи базирани за пренос на податоци со безжичен пренос.

N. Surendranath Reddy u соработниците (2016) [51] ги проучувале сегашните сензорски технологии и методи на комуникација кои се достапни за следење на безбедноста во рудникот.

Chengyu Bai (2017) [52] предложиле систем за следење оган во рудник за јаглен врз основа на Zig-bee технологија, и дискутирале за процесот на пренос на податоци преку мрежата во системот. Системот е наменет за следење на температура, влажност и чад при пожар во рудник за јаглен.

S. R. Deokar u соработниците (2017) [53] дизајнирале систем за следење во реално време за да обезбедат појасна и точка до точка перспектива на подземен рудник. Развиениот систем ги прикажува параметрите на уредот за следење и за пренос на податоци кој користи Zigbee безжичен систем.

Поглавјето ги објаснува сите претходни системи поврзани со следење на безбедноста во рудниците. Различни истражувачи вршат презентација во оваа насока и презентираат системи за надзор на гасови и пожари во рудниците.

Системот опишан во оваа магистерска работа е имплементација на систем за следење во реално време со безжична технологија за пренос на податоци.

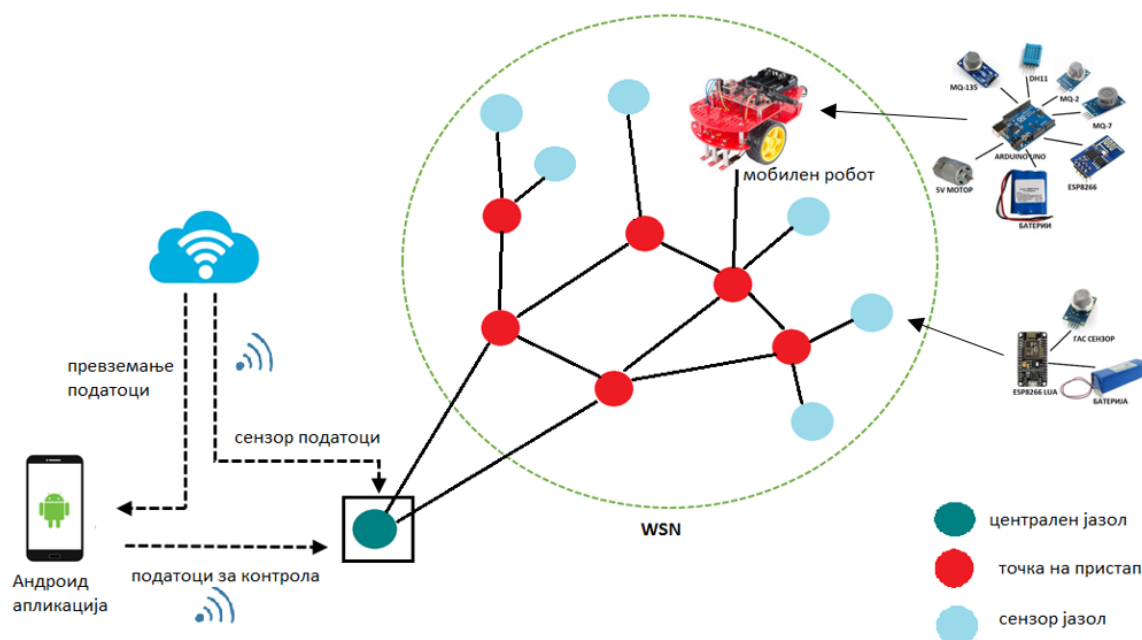
6. АРХИТЕКТУРА НА СИСТЕМОТ

Во оваа магистерска работа се претставува дизајн и развој на систем кај подземни рудници за следење на гасовите со мобилен робот преку WSN комуникација. Безбедноста е најважна карактеристика на индустријата за правилно функционирање. Многу земји во светот често се соочуваат со случување на несреќи во рудниците односно, експлозија на гас, поплава, појава на пожар за време на експлоатација. Затоа, потребно е да се открие појавата на различни гасови во рудниците. Тоа бара развој на систем кој може да помогне да се минимизираат човечките и материјалните загуби кои се случуваат за време на минирање или експлозии во рудниците. Идејата за систем за следење на гасови доби огромен замав во технологијата. Ова доведе до широка употреба на безжични комуникациски технологии. Во детали е опишана структурата на системот на мобилниот робот, користењето на различни сензори вклучувајќи сензори за гас и сензори за температура и влажност, како и собирање на информации, безжичен пренос.

Системот за добивање информации има две главни функции: (1) собирање на еколошките параметри и информации од различни сензори; и (2) прецизен пренос на информации за работната средина. Од една страна, се формира мрежа и се собираат разни податоци од сензорите со мрежата во реално време, од друга страна, пак, централниот јазол ги праќа собраните податоци на серверот во база на податоци преку интернет. Системот за стекнување на информации од рудникот се состои од бежична сензорска мрежа составена од централен јазол и сензорски јазли (рутирачки јазли). Тој е опремен со сервер со база на податоци и сензорски јазли кои меѓусебно се поврзани и двонасочно комуницираат. Централниот јазол обезбедува способност за далечински пристап до интернет. Главната функција за следење е да се обезбедат подземни информации од работната средина во рудникот и да се запишат во базата на податоци за понатамошна обработка и анализа.

Архитектурата на системот е прикажана на *слика. 21*. Овој систем е поделен на четири главни слоеви. Тој се состои од:

- ❖ слој за системска функција на мобилниот робот;
- ❖ слој за управување;
- ❖ слој за комуникација и
- ❖ слој за чување и анализа на информации.



Слика бр. 21 Архитектура на системот

Figure 21. System architecture

Системот се состои од подединици, имено: (1) сензори за мерење на нивото на концентрација која е присутна во средината; (2) визуелен приказ на концентрација; (3) гласен аудиоаларм за заштита и предупредување на рударите; (4) автоматско исклучување на реле за отсекување на енергијата кога концентрацијата ја надминува границата; (5) далечински уред за гледање и читање на податоците од безбедна далечина; (6) чување на податоците од сензорите со датум и време за понатамошна употреба; и (7) микроконтролер за контрола на функциите.

6.1 Слој за системска функција на мобилниот робот

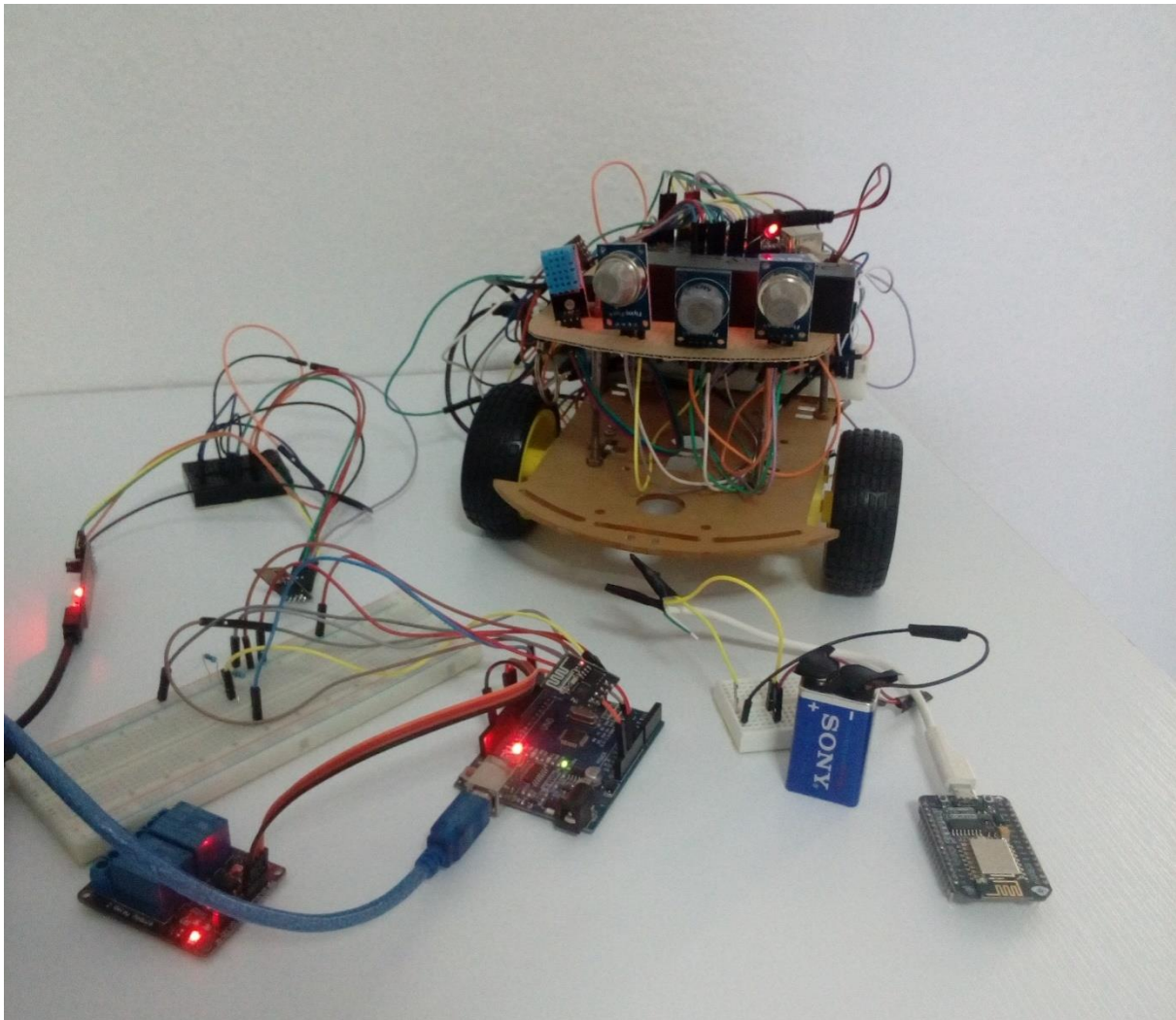
Во системот за детектирање на гасови се користи Arduino микроконтролер кој е поставен на мобилниот робот. Причината за избирање на

Arduino микроконтролер е тоа што поседува мали димензии, висока доверливост, ниска цена, што го прави многу погоден за користење во индустријата и за теренска контрола во реално време. Сензорите се прикачени на микроконтролерот за да се соберат податоци. Тој има способност да ги преведе, трансформира, и пренесе овие податоци во форма на корисни информации.

Податоците за контрола и концентрацијата на гас се пренесуваат преку безжичната сензорска мрежа од слојот за управување до мобилниот робот и обратно. Со добивање на дозвола за мерење и насока на движење на мобилниот робот тој се движи во посакуваната насока и ја мери концентрацијата на гасовите.

Микроконтролерот добива аналогни сигнали од сензорите па потребно е од добиените податоци да се добие концентрација во ppm. Погоре претставените графици и наведените формули се користат за конвертирање на добиениот аналоген влез во ppm. По добивањето, вредноста како корисна информација се пренесува преку безжичната сензорска мрежа. Исто така граничните вредности за концентрацијата се декларирани на микроконтролерот. Ако добиената концентрација ја преминува граничната вредност, микроконтролерот прво генерира аудио аларм, што е индикација за појава на пожар или присуство на штетни гасови во работната околина. Мобилниот робот континуирано ги следи гасовите, температурата и влажноста во подземните рудници и идентификува дали има појава на гас. Со *Wi-Fi* модул прикачен на мобилниот робот, кој се однесува како сензорски јазол, податоците се пренесуваат преку безжичната сензорска мрежа.

Добиените податоци од рудникот се обновуваат, така што спасувачкиот тим може да ги следи постојано. Ако нивото на концентрација на гасови ја надминува дозволената гранична вредност во поставената област, системот генерира гласен аларм за известување на рударите да се евакуираат од подложната зона, и за тоа го известува контролниот тим во рудникот да се преземат соодветни мерки. На сл. 22 е прикажан хардверскиот дел на системот.

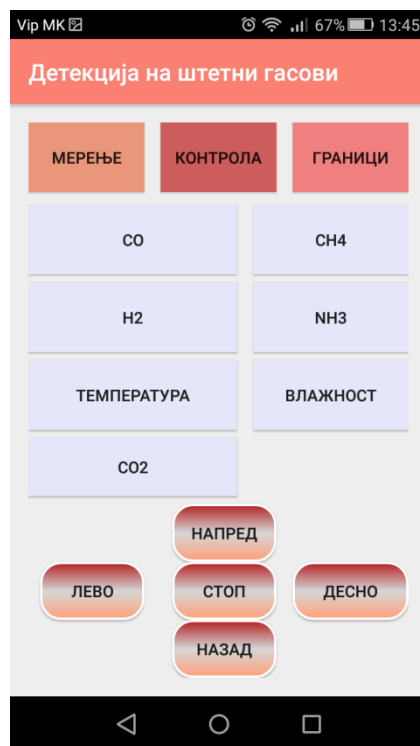


Слика бр. 22 Мобилен робот, сензорски јазел и централен јазол

Figure 22. Mobile robot, sensor node and central node

6.2 Слој за управување

Овој дел дава преглед за работата на мобилната апликација која го контролира мобилниот робот со команди кои се пренесуваат преку безжичната сензорска мрежа. Интерфејсот е прикажан на сл. 23.



Слика бр. 23 Интерфејс на мобилната апликација

Figure 23. The interface of the mobile application

Преку мобилната апликација исто така можат да се прегледаат податоци за концентрацијата на штетните гасови добиени од мобилниот робот или од сензорите поставени во тунелите на рудникот. Функциите за движење на мобилниот робот се контролирани преку контролниот панел каде има контроли за лево, десно, напред, назад и STOP. Видовите на гасови кои се измерени и нивната моментална добиена вредност за концентрација се прикажува соодветно, додека стандардната дозволена граница за концентрација на гас е прикажана во додатен интерфејс. Исто така може да се проследат детални табели од сите досегашни измерени гасови. Податоците кои се добиени од сензорските јазли исто така може да се следат. Граничните вредности кои се поставени го определуваат алармирањето. Доколку вредноста која е дефинирана е надмината постои аларм светилка и вибрација на соодветниот гас која се појавува на интерфејсот за контролата. Во софтверот бојата која се прикажува се менува во однос на промената на концентрацијата на гас од податоците добиени од соодветните сензори, ова е проследено и со вибрација.

Различни фази за предупредување (жолта, портокалова, црвена итн.) се поставени во зависност од статусот на сензорите.

Мобилната апликација ги има следниве карактеристики:







- Добива информации во реално време со параметрите од сензорот;
- Податоците се прикажуваат на мобилната апликација (приказ на податоци од мобилниот робот и од различни тунели) ;
- Обезбедува графички приказ на сите податоци снимени од сензорите во форма на табели;
- Дава предупредување на шест нивоа врз основа на границата на секој параметар во зависност од концентрацијата на штетни гасови;
- Сигнализира боја и вибрација врз основа на граничната вредност од индивидуалните мерења на сензорите;
- **Зелена боја** (безбедна состојба): кога добиените вредности се помали од граничната вредност, тогаш бојата на соодветната зона е прикажана како зелена и претставува дека во мерната зона концентрацијата е мала и безбедна и оваа ситуација е без предупредување;
- **Жолта боја** (предупредување за прво ниво): кога добиените податоци ја надминуваат првата граничната вредност, тогаш бојата на соодветната зона се менува во жолта и покажува дека шансите за зголемување на концентрацијата на гасот се зголемени и алармира како прво ниво на предупредување;
- **Портокалова боја** (предупредување за второ ниво): кога добиената концентрација на гас ја надминува претходнодефинираната вредност, тогаш бојата на соодветната зона е изменета на портокалова, што укажува на можноста луѓето да бидат изложени на пониско ниво;
- **Црвена боја** (предупредување за трето ниво): кога добиената концентрација на гас ја надминува претходнодефинираната вредност, тогаш бојата на соодветната зона е изменета на црвена, што укажува на можноста луѓето да имаат здравствени ефекти, а кај некои гасови постои можност за експлозија;
- **Виолетова боја** (критична состојба): кога добиената концентрација на гас ја надминува претходнодефинираната вредност, тогаш бојата на соодветната

зона е изменета на виолетова, што укажува на можноста за зголемување на концентрацијата што се приближува кон граничната вредност, кај некои гасови е поверојатно да се случи експлозија. Системот, исто така испраќа предупредување и укажува забрането движење во тој регион;

- **Темноцрвена боја** (опасна состојба): поради зголемување на концентрацијата на гас во областа. Кога концентрацијата на гас ја надминува граничната вредност, тогаш бојата на соодветната зона се менува во темно црвена, сигнализирајќи голема концентрација на штетни гасови. Во текот на оваа ситуација, има предупредување од петто ниво, кај некои гасови има експлозија.

Табела бр. 16 Вредности и опис на ефектите врз здравјето и експлозија

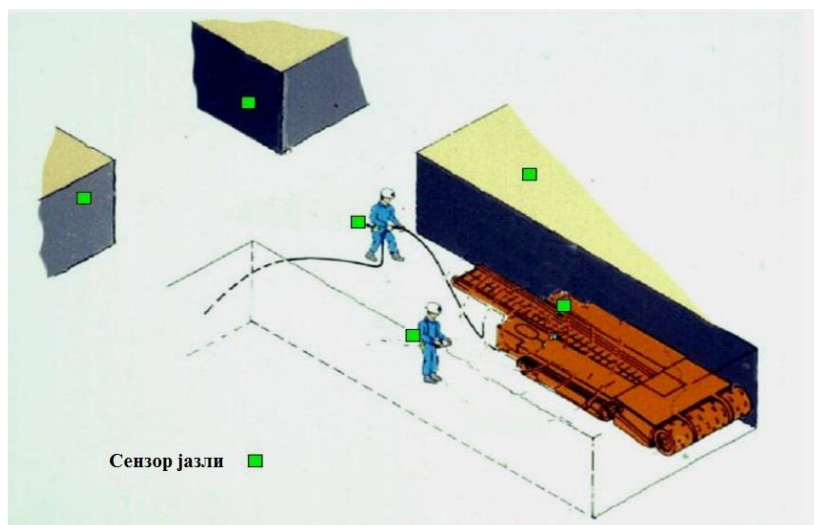
Table 16 Values and description of the effects on health and explosion

	Боја	Категорија	Опис на ефектите
	темноцрвена	опасно, експлозија	можно е сите да се во опасност, кај некои гасови има експлозија;
	виолетова	многу нездраво, експлозија	сите можат да имаат повеќе сериозни здравствените ефекти, кај некои гасови е поверојатно да се случи експлозија;
	црвена	нездраво, експлозија	сите можат да имаат здравствените ефекти, кај некои гасови постои можност за експлозија;
	портокалова	нездраво за одредени групи	луѓето би можеле да бидат изложени на пониско ниво;
	жолта	умерено	квалитетот на воздухот е прифатлив сепак, може да има умерена здравствена грижа за многу мал број на луѓе;
	зелена	добро	квалитетот на воздухот се смета за чист и нема загадување

6.3 Слој за комуникација

Овој дел дава преглед на работата и преносот на податоците со безжичната сензорска мрежа. Безжичните уреди имаат две главни функции: (1) собирање на податоци, (2) транспорт на податоци. Добиените податоци може

да бидат физиолошки податоци, податоци за работната средина како што е нивото на концентрација на гас. Фокусот во овој дел е транспортот на податоци.



Слика бр. 24 Mesh мрежа на безжични сензорски јазли може да се користи за да се создаде паметна средина во рудникот за заштита на здравјето и безбедноста на рударите во текот на работата

Figure 24. A mesh network of wireless sensor nodes can be used to create a smart mine environment to protect the health and safety of miners during

Сензорските јазли се клучни елементи на паметна средина за заштита на здравјето и безбедноста на рударите за време на работата и во итни ситуации. Слика 24 прикажува паметна средина во рудникот која може да обезбеди интерактивност во работната средина во рудникот. Сензорските јазли се користат за да се обезбеди комуникација и да се добијат податоци за концентрацијата на штетните гасови, така што податоците може да се користат за да се алармираат рударите за опасностите по здравјето и безбедноста при работа.

Во оваа магистерска работа се дизајнира и тестира евтина и лесна за користење платформа за развој на безжична сензорска мрежа со *ESP8266* модул. Модулот *ESP8266* е *Wi-Fi* чип со целосна *TCP/IP* способност. Оваа плочка има интегриран *MCU* (микроконтролерска единица) кој дава можност за контрола на *I/O* дигитални пинови преку псевдо-код. Овој мал модул овозможува микроконтролерот да се поврзе со *Wi-Fi* мрежа и да се креираат *TCP/IP* конекции. На *ESP8266* модулот може да се приклучи *PCB* антена која

има многу добра покриеност за повеќе од 1км. ESP8266 ги пренесува податоците од изворниот уред, како што е гас сензорот, до крајниот уред, како што е екранот или базата на податоци. Предноста на ESP8266 е дека во исто време, може да биде и клиент и точка на пристап (сервер).

Meѓу главните предности на овој модул е неговата цена. Еден модул чини помалку од \$5., Во табела 17 е прикажана споредба на цени со други Етернет и Wi-Fi модули кои се во опсег од \$30 до \$60.

Табела бр. 17 Некои примопредаватели, Ethernet и WiFi цени на модули

Table 17 Some Transceivers, Ethernet and Wi-Fi module prices

1.	ESP8266-01	\$5
2.	Ethernet Shield for Arduino	\$60
3.	Zigbee	\$25
4.	Wi-Fi Shield Sparkfun	\$40
5.	Wi-Fi Shield for Arduino	\$80
6.	Huzzah Wi-Fi shield by Adafruit	\$40
7.	ESP8266-12	\$7

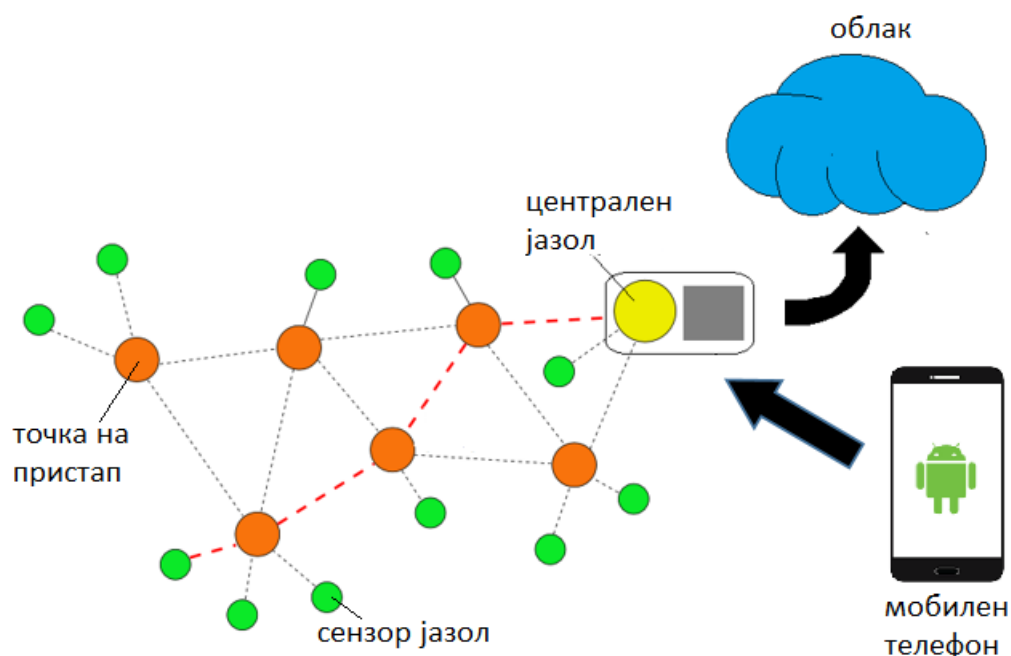
Не само во однос на куповната цена, овој модул е економичен и за развивање на систем. ESP8266 може да функционира самостојно, но може да се поврзе на Arduino што го прави самостоен и има можности за обработка и пренос на податоци преку интернет.

Во WSN разни примопредаватели се користат на пример NRF24L01+, Zigbee кои се поврзани со централниот систем кој ги испраќа податоците преку интернет. Ова доведува до додатен хардвер и зголемување на трошоците. ESP8266 спротивно на тоа може директно да се поврзе на интернет, без потреба за било каков дополнителен хардвер и намалување на проблемите за поврзување.

Во проектите каде се користи IoT и WSN употребата на ESP8266 станува клучна компонента за истражување и развој на овие технологии. Самото постоење на таков евтин и лесен за користење модул е показател дека наскоро

целиот свет ќе имаат голем број на податоци за да се анализираат и да се направи полесен и поудобен живот.

Системот целосно е имплементиран (сл. 25) со користење на предностите *ESP8266* модулот, без користење на кабли. За целосна имплементација потребно е да се подели областа и да се изгради под-мрежа од повеќе *ESP8266* модули. Исто така, главниот дел содржи друг модул *ESP8266* прикачен на Arduino Uno. Во секоја под-мрежа тие се наредени во еден вид на комбинација помеѓу Mesh и ѕвезда, со цел да се користат како посредници, додека останатите се користат само за читања на податоците од сензорите за гасови.



Слика бр. 25 Начин на работа на бежична сензорска мрежа

Figure 25. Manner of functioning of wireless sensor network

Со цел да се поврзат два *ESP8266*, барем еден од нив мора да биде конфигуриран како точка на пристап за да се даде на другите можност за откривање. Откако се поврзани заедно, потребна е комуникација помеѓу нив.

Сензор јазлите се програмирани да ги читаат и праќаат вредностите на секои 15 минути. По прочитаните податоци од сензорите, сензорскиот јазол ги презема податоците и ги препраќа на другите точки на пристап. Секој *ESP8266*

е програмиран да ги прочита добиените податоци од сензорите од крајниот и да се поврзе со најблиската точка на пристап (Access point), а потоа да ги испрати добиените податоци до друга точка на пристап. Секој посредник *ESP8266* слуша и добива податоци, а потоа истите се праќаат на следниот посредник се до *ESP* централниот јазол. Централниот јазол е конфигуриран да биде главен за пренос на податоци, задолжен за примање, пренос и обработка на податоците од најблиските точки на пристап. По добивањето ги праќа на cloud во база на податоци. Исто така, централниот *ESP8266* ги презема податоците од мобилната апликација за контрола кои се пренесуваат до јазлите каде што се наоѓа мобилниот робот.

Мобилниот робот се однесува како сензорски јазол за да пристапи до точките на пристап и да се пренесат добиените податоци од сензорите. Точките на пристап се програмирани да се однесуваат како модул за откривање на блиската точка на пристап, проверка на достапноста и испраќање на мерењата до централниот јазол.

Сите вредности од сензорите се пренесуваат до централниот јазол. Кога нивото на метан ја надминува дозволената граница, мобилниот робот обезбедува предупредување, а истовремено централниот јазол го исклучува главното снабдување со електрична енергија преку реле. Ова спречува експлозии и на тој начин ги заштитува драгоцените човечките животи, како и самиот рудник.

ESP8266 модулите работат на начин на кој се оптимизира системот и се добива енергетски ефикасен систем. Архитектурата за штедење енергија работи во 3 режими: активен режим, режим на мирување и режимот на длабок сон. Енергијата за модулите е обезбедена од банка батерија за период до 5 дена, по овој период, таа е заменета со резервната батерија, која е во наполнета состојба на површината.

Дизајнот на сензорската мрежа е под влијание на многу фактори, вклучувајќи: приспособливост, управување со системот, толеранција на грешка, топологија на сензорската мрежа, ограничувања на хардверот, пренос на

податоците и потрошувачката на енергија. Таа има три главни предности во однос на жичените системи за следење:

1. Нема потреба од кабли кои се поставуваат и инсталираат во слепи области, со што се намалуваат трошоците на системот за следење. Бројот на јазли може да се зголеми за да се елиминираат слепи области. Исто така, тој нуди општа комуникација и распределба.

2. Густо поставените јазли обезбедуваат податоци со висока точност и пренос, и натамошна реализација на систем за следење во реално време на работната средина за рудникот.

3. Способност за складирање на податоци добиени од сензорските јазли на компјутери и облак системи.

4. Горенаведените предности ја прават безжичната сензорска мрежа идеална за следење на безбедноста во рудници.

6.4 Слој за чување и анализа на информации

Преку облак компјутерската платформа, може да се постигне масовно чување на податоци и интеграција. Добиените податоци од различни зони се пренесуваат преку безжичната сензорска мрежа и се зачувуваат во база.

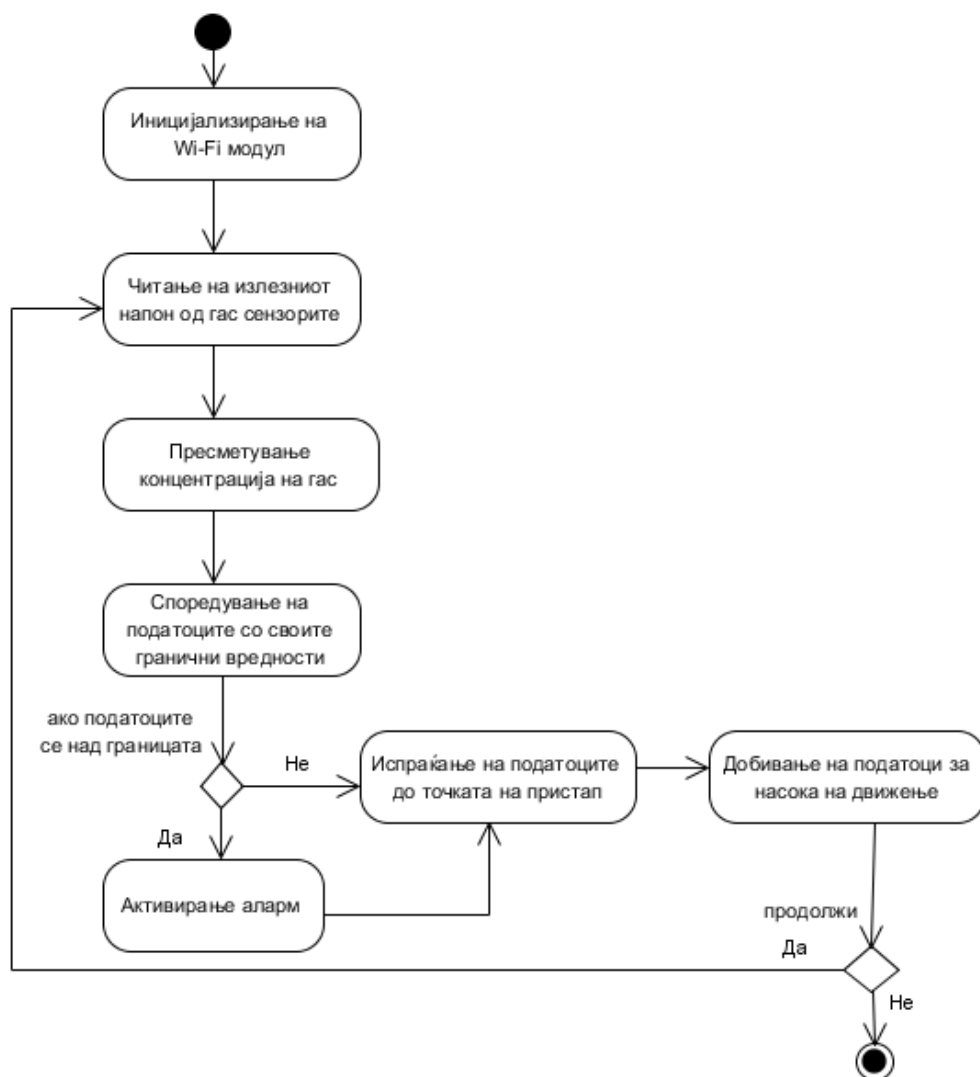
Со зачувување на добиените податоци на облак, контролниот тим има пристап до сите информации добиени од работната средина, и овие податоци не се соочуваат со проблеми како кражба на компјутерските системи или нивно оштетување. Со складирањето на облак се добива можност за далечинско следење. Во секое време и од секое место може да се управува и пристапува до податоците. Кај облак системите не постојат ограничувања за бројот на податоци кои се складираат, исто така трошоците за одржување се намалуваат.

6.5 Блок дијаграми

Овој систем за следење главно се состои од две единици. Првата е сензорска единица, а другата е контролна единица. Сензорската единица содржи два дела:

1. Единица за набљудување која се состои од мобилен робот и сензор јазли;
2. Единица за пренос која се состои од точки на пристап и централен јазел.

Во *график бр. 1* е покажан протокот на сензорската единица во која под (А) е претставена шема на протокот кај мобилниот робот, а под (Б) е шема на протокот на сензорските јазли.



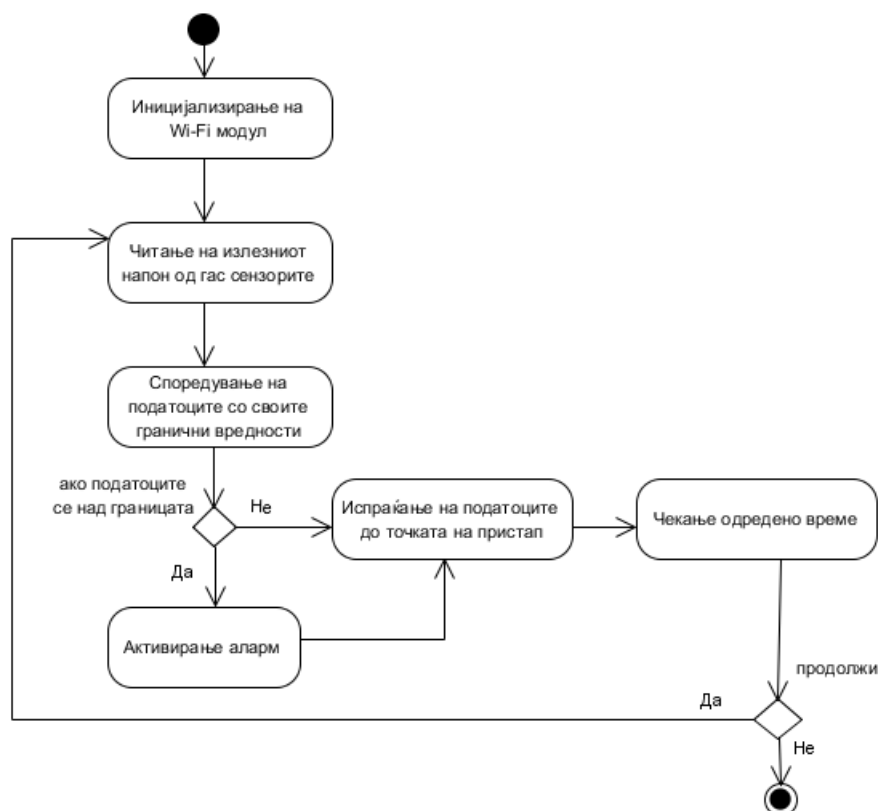


График 1 Дијаграм на проток кај а) мобилниот робот б) сензорски јазел

Graph 1. Diagram a) mobile robot b) sensor node

График бр. 1 е дијаграм за мобилниот робот. Првично, сензорот ќе започне читање на концентрација на гас. Вредноста ќе биде претворена во дигитална вредност. PPM вредноста на концентрацијата се пресметува со користење на формулите. Вредностите ќе бидат споредени со граничните вредности ако вредноста е поголема ќе се активира аларм. Потоа вредноста ќе се пренесе во базата на податоци преку сензорската мрежа по што се добива насоката за движење.

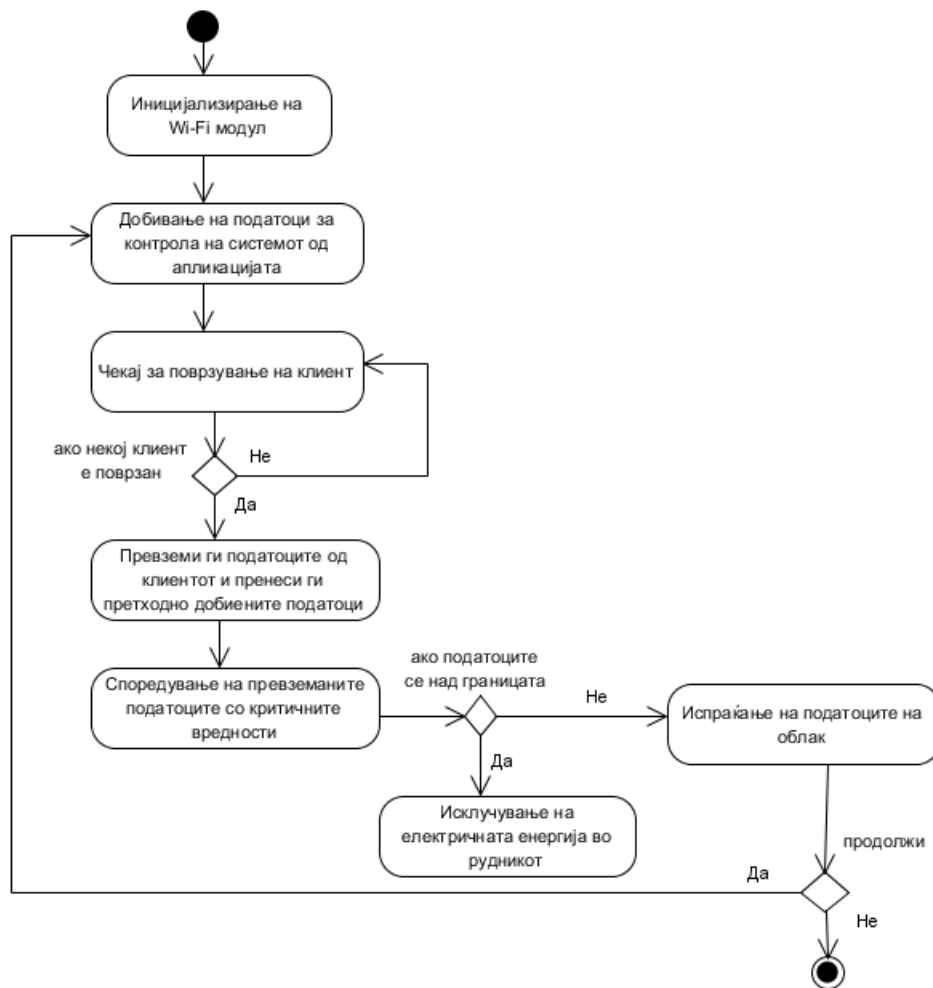


График 2 Дијаграм за централниот јазол

Graph 2. Diagram of the central node

График бр. 2 го прикажува дијаграмот на централниот јазол додека, на график бр. 3 е прикажан дијаграмот на контролната единица.

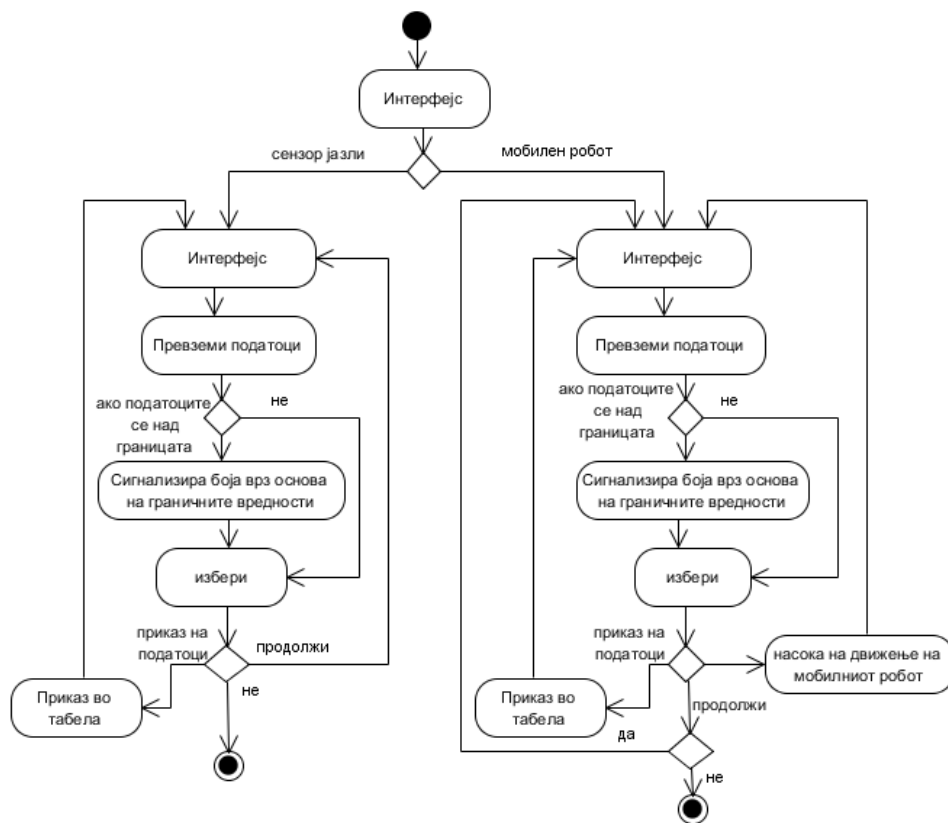


График 3 Дијаграм за контролната единица

Graph 3. Diagram for the control unit

7. ЕКСПЕРИМЕНТАЛНИ РЕЗУЛТАТИ

Системот се користи за собирање на податоци, пренос на податоци, складирање и анализа. Тестирањата во оваа магистерска работа се направени со мобилен телефон Huawei со Андроид оперативен систем верзија 5.1, AWS и мобилен робот кој се состои од: микропроцесор (Arduino), два 5V мотори, сензори за мерење концентрација на гасовите CO , CO_2 , CH_4 , H_2 , NH_3 , сензор $DH11$ за температура и влажност и $ESP8266$ модул.

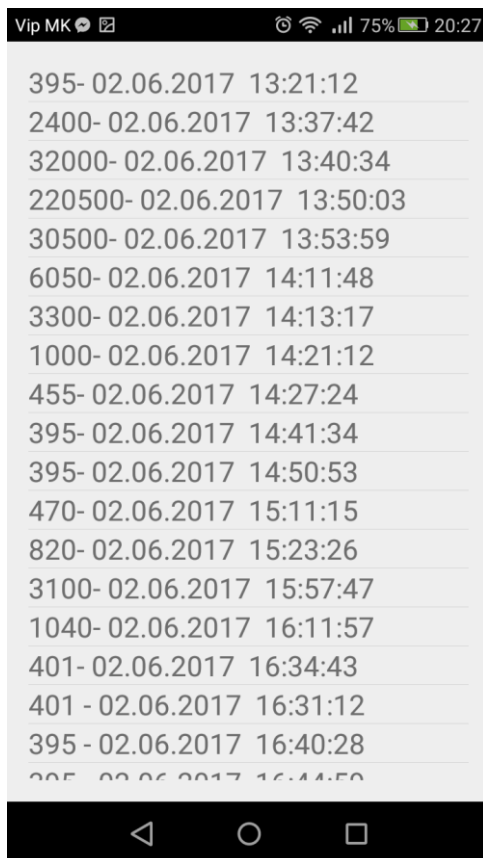
Во овој дел, со тестирања и анализа на резултатите кои се добиени, направена е споредба помеѓу концентрации на гасови кои се измерени во чиста и загадена средина. Добиените резултати се претставени на два начина, и тоа:

- добиени визуелни резултати;
- анализа на добиените резултати при следење на гасови во чиста и загадена средина;
- податоци добиени во реално време при мерење на површински коп во рудниците с.Стрмош, Пробиштип.

Целта на овој дел од магистерската работа е визуелно и графички да се потврдат хипотезите кои беа поставени на самиот почеток.

7.1 Визуелен приказ

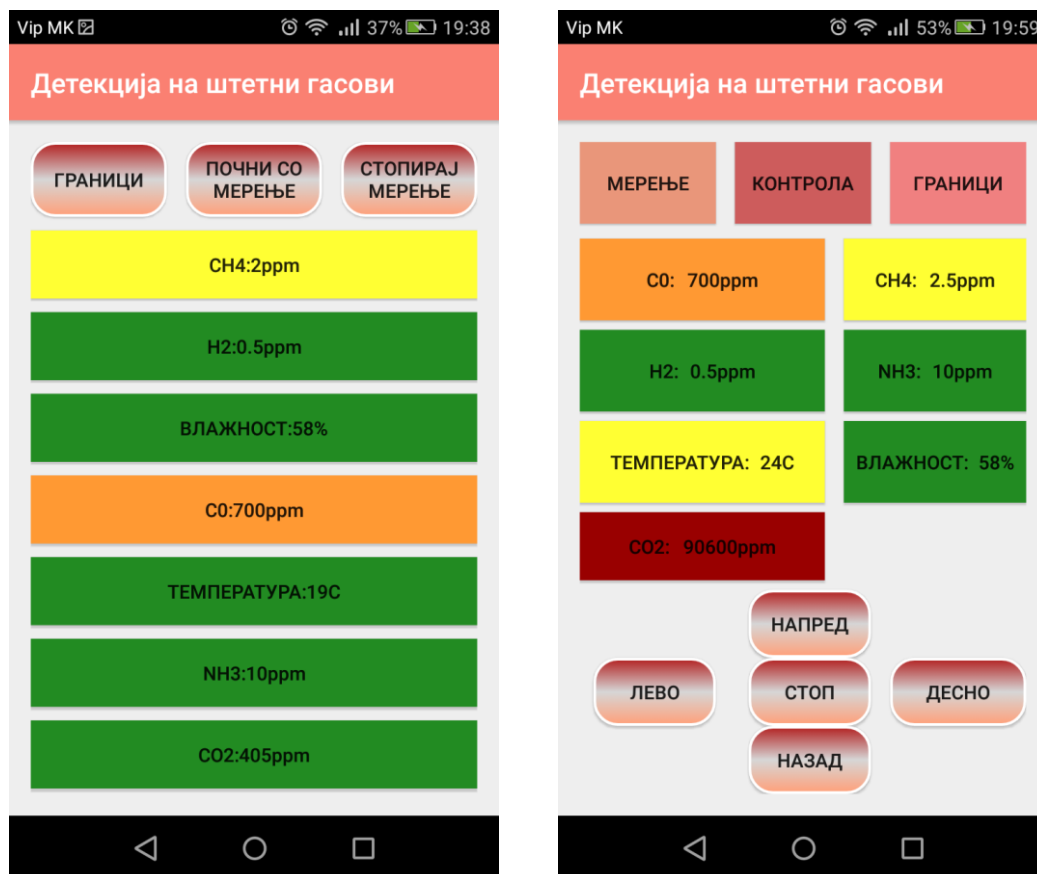
Примероците на гас континуирано се набљудуваат во секој регион. *Слика 26* ги прикажува добиените визуелни податоци на мобилната апликација и тоа во реално време со прикажување на варијација на концентрација на гас. Разни информации можат да се собираат, чуваат и обработуваат. По добивањето податоците се собираат и се прикажуваат преку бројки во табели.



Слика бр. 26 Складирани излезни податоци од сензорот

Figure 26. Stored sensor output data in the computer

При интерпретацијата на податоците во врска со некој настан, како што се пожар или експлозија, експлозивноста на атмосферата се набљудува и треба да се пресмета, со граници, боја кои графички се прикажуваат како на *слика 27*.



Слика бр. 27 Визуелен приказ при надмиување на границите на концентраци за сензорски јазли и мобилен робот

Figure 27. Visual representation overcoming concentration limits for sensor nodes and mobile robot

Иако разгледувањето на аналитичките податоци е од суштинско значење, движењето и приказот на соодветните коефициенти и индекси обезбедува подобар показател за тоа што се случува во подземната средина.

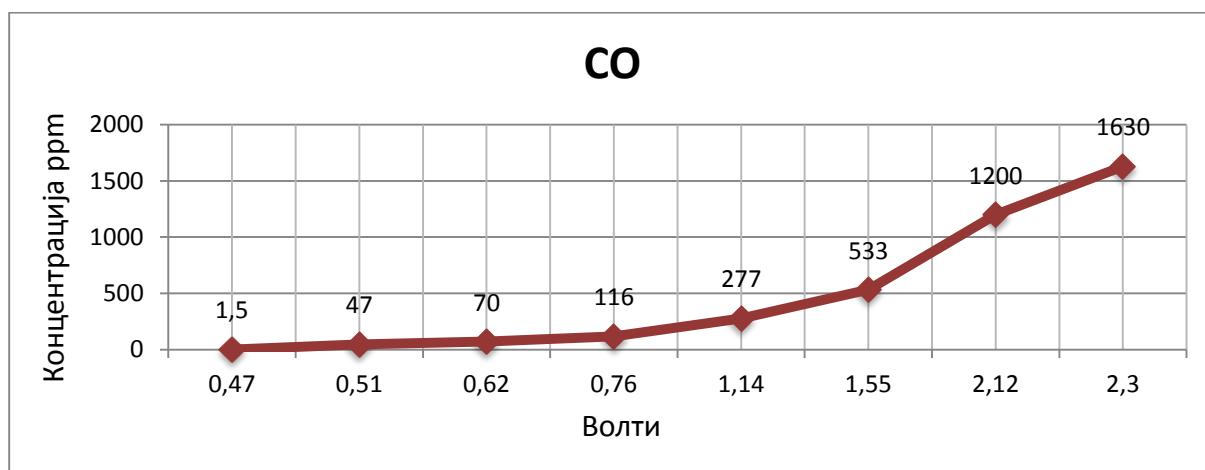
7.2 Резултати при следење на гасови во чиста и загадена средина

Без оглед на тоа кој метод се користи за оваа намена, се бара експертиза во разгледувањето на податоците, земајќи ги предвид и другите параметри кои можат да влијаат на експлозивноста на атмосферата. Тие не го вклучуваат само нивото на штетни гасови во моментот, но исто така и температурата и влажноста на воздухот. Погоре дизајнираниот систем се користи за тестирање во лабораторија или вештачка рударска средина. Најпрво е спореден сензорот на јаглороден моноксид во чиста и загадена

средина. Вредностите добиени при користење на овој сензор во лабораторија се прикажани на слика 28.



а)

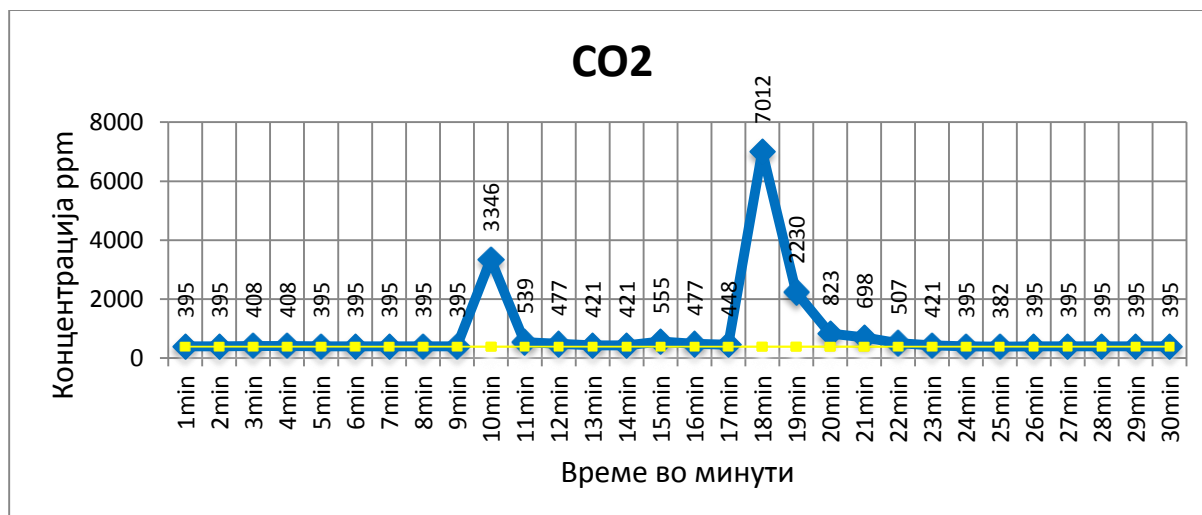


б)

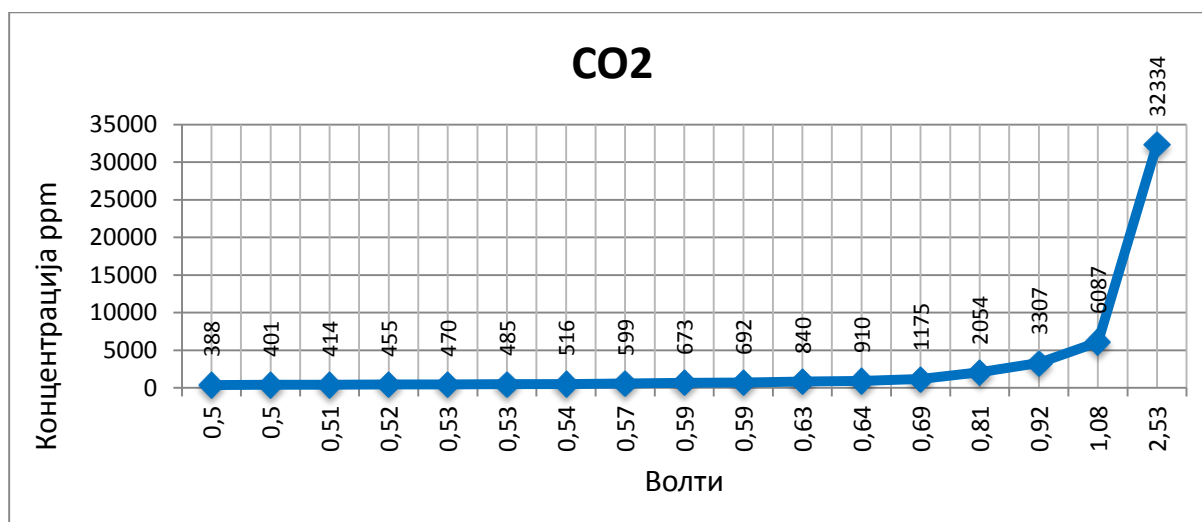
Слика бр. 28 Графички приказ на вредноста од јаглерод моноксид добиени од сензорот. а)Кривата со плава боја ја покажува вредноста на јаглерод моноксид во чиста средина а црвената ја покажува вредноста при изложеност на јаглерод моноксид. б) однос помеѓу концентрацијата и аналогниот излезен напон

Figure 28. Graphical representation of carbon monoxide sensor value. а)blue color curve shows the carbon monoxide value in a clean environment and red color curve shows the value on exposure carbon monoxide б) Relation between concentration and analog output voltage

Понатаму е спореден сензорот за CO_2 , во чиста и загадена средина. Вредностите добиени при користење на овој сензор во лабораторија се прикажани на слика 29.



а)

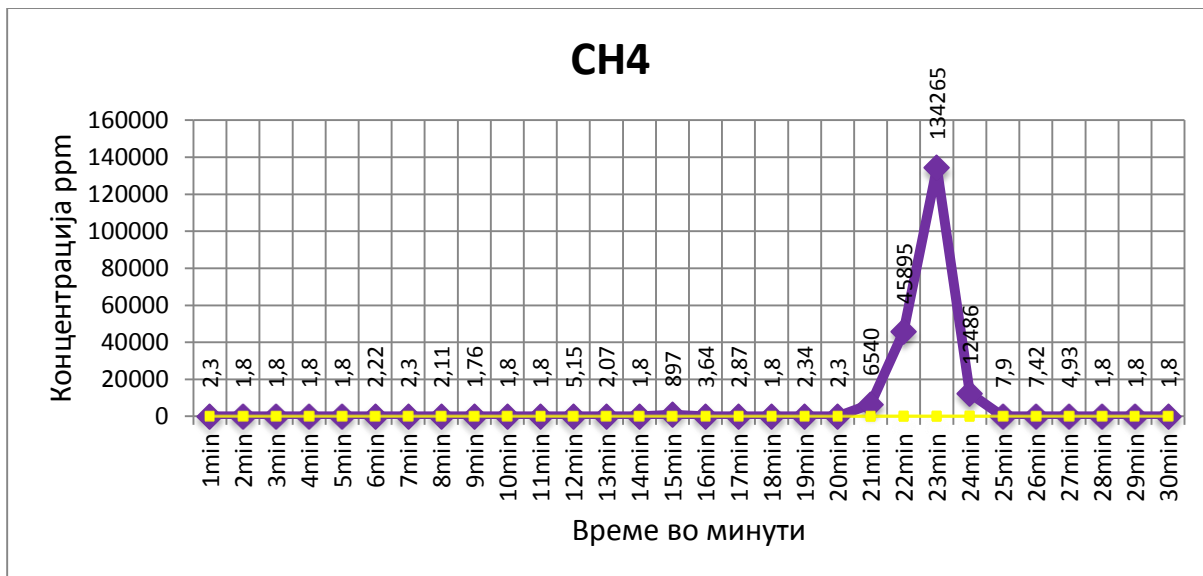


б)

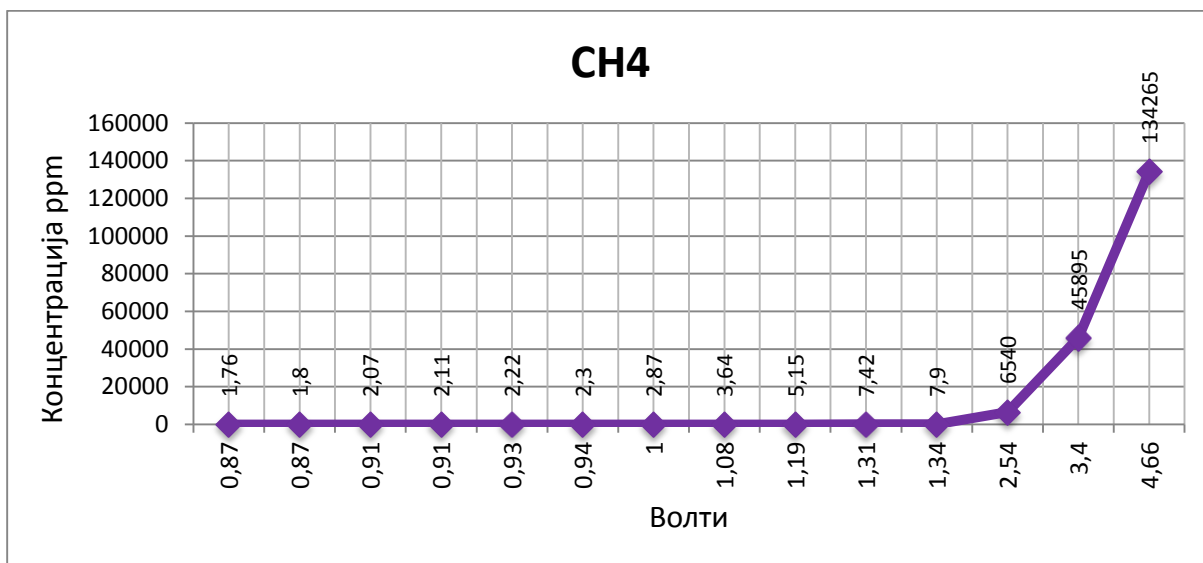
Слика бр. 29 Графички приказ на вредноста од CO_2 , добиени од сензорот. а)Кривата со жолта боја ја покажува вредноста на CO_2 , во чиста средина а плавата ја покажува вредноста при изложеност на CO_2 , б) однос помеѓу концентрацијата и аналогниот излезен напон

Figure 29. Graphical representation of CO_2 , sensor value. a)yellow color curve shows the CO_2 , value in a clean environment and blue color curve shows the value on exposure CO_2 b) Relation between concentration and analog output voltage

Следно спореден е сензорот за CH_4 во чиста и загадена средина. Вредностите добиени при користење на овој сензор во лабораторија се прикажани на слика 30.



а)

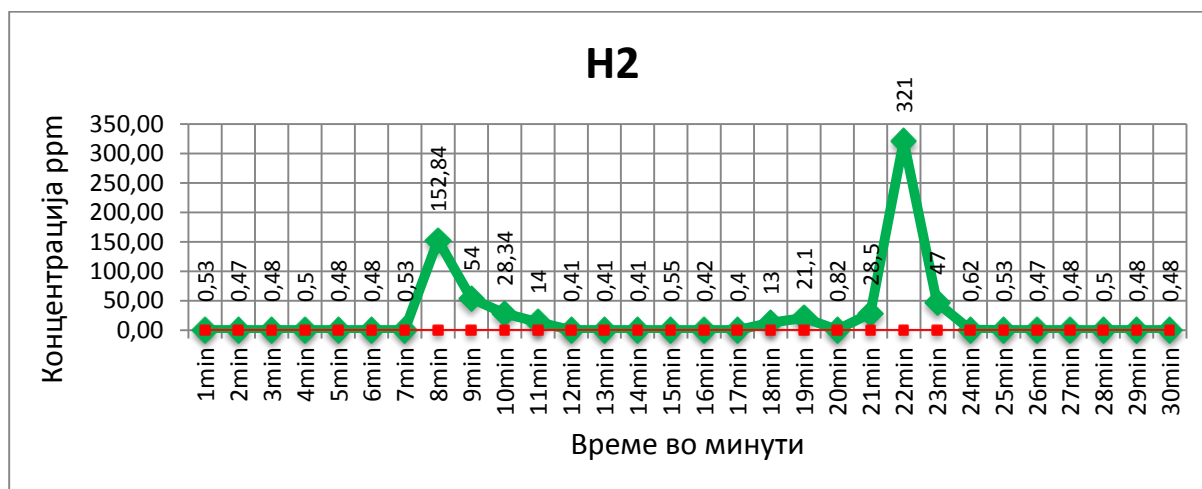


б)

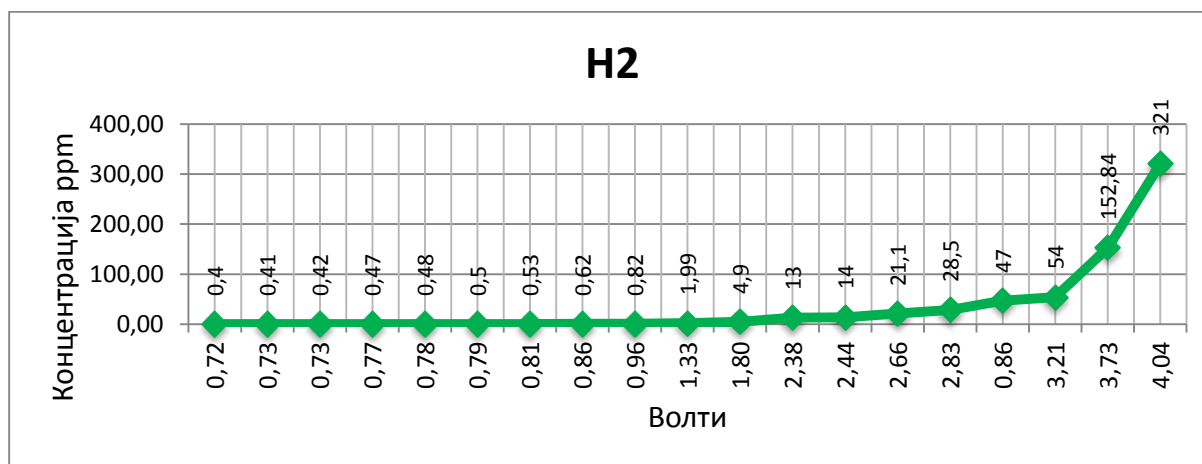
Слика бр. 30 Графички приказ на вредноста од CH_4 добиени од сензорот. а)Кривата со жолта боја ја покажува вредноста на CH_4 во чиста средина а виолетова ја покажува вредноста при изложеност на CH_4 , б) однос помеѓу концентрацијата и аналогниот излезен напон

Figure 30. Graphical representation of CH_4 , sensor value a) yellow color curve shows the CH_4 value in a clean environment and purple color curve shows the value on exposure CH_4 b) Relation between concentration and analog output voltage

Потоа е спореден сензорот за H_2 во чиста и загадена средина. Вредностите добиени при користење на овој сензор во лабораторија се прикажани на слика бр. 31.



a)

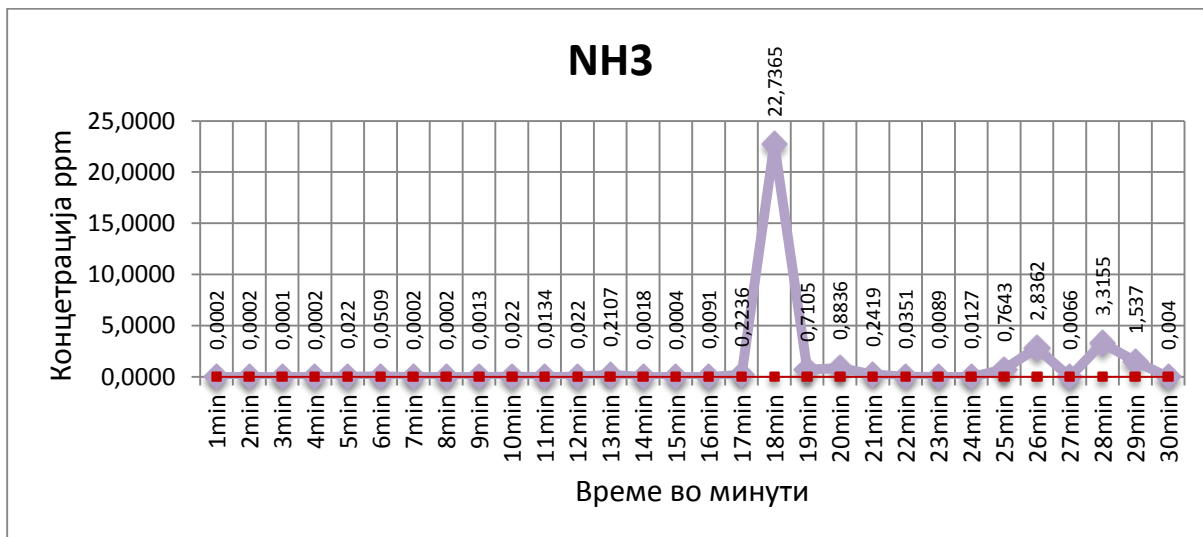


б)

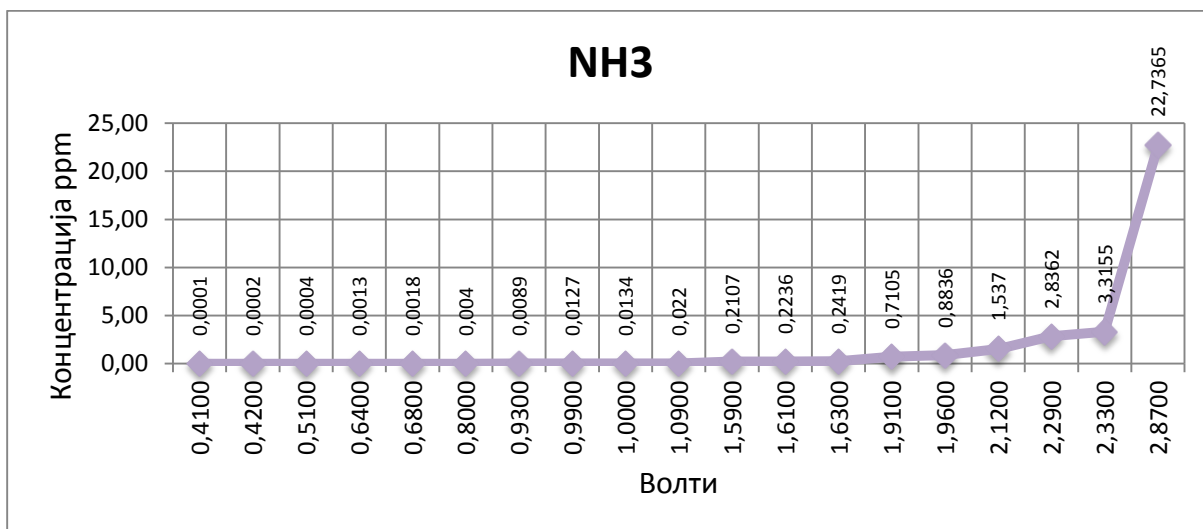
Слика бр. 31 Графички приказ на вредноста од H_2 добиени од сензорот. а)Кривата со црвена боја ја покажува вредноста на H_2 во чиста средина а зелената ја покажува вредноста при изложеност на H_2 б) однос помеѓу концентрацијата и аналогниот излезен напон

Figure 31. Graphical representation of H_2 sensor value a) red color curve shows the H_2 value in a clean environment and green color curve shows the value on exposure H_2 b) Relation between concentration and analog output voltage

Тестирање е направено и сензорот за NH_3 во чиста и загадена средина. Вредностите добиени при користење на овој сензор во лабораторија се прикажани на слика 32.



а)

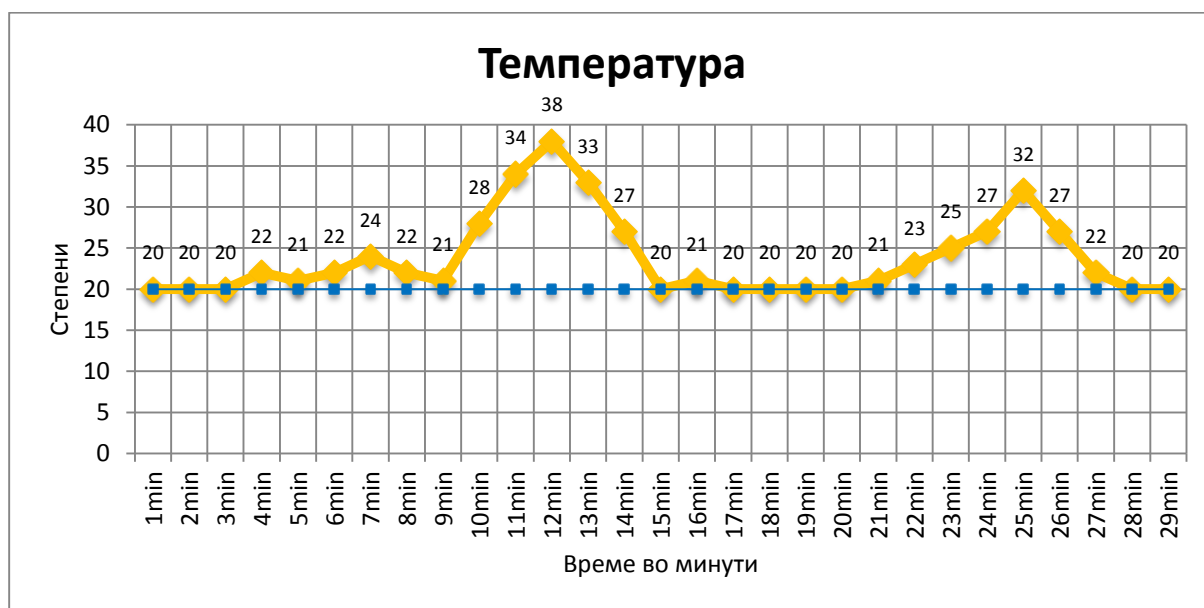


б)

Слика бр. 32 Графички приказ на вредноста од NH_3 добиени од сензорот. а)Кривата со црвена боја ја покажува вредноста на NH_3 во чиста средина а виолетова ја покажува вредноста при изложеност на NH_3 б) однос помеѓу концентрацијата и аналогниот излезен напон

Figure 32. Graphical representation of NH_3 sensor value a) red color curve shows the NH_3 value in a clean environment and purple color curve shows the value on exposure b) Relation between concentration and analog output voltage

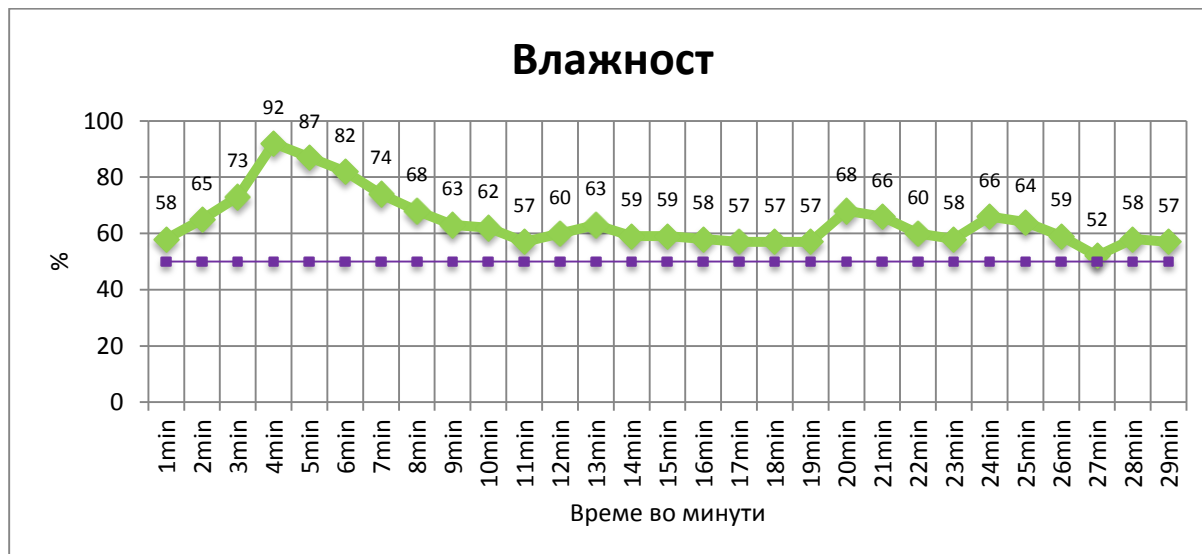
Понатаму е спореден сензор DH11 за температура. Вредностите добиени при користење на овој сензор во лабораторија се прикажани на слика 33.



Слика бр. 33 Графички приказ на вредноста за температура добиени од сензорот. Кривата со плава боја ја покажува вредноста за температура при нормални услови, а портокаловата ја покажува вредноста при покачена температура

Figure 33. Graphical representation of temperature sensor value blue color curve shows the temperature value in normal conditions and orange color curve shows the temperature value by increases temperature

Понатаму е спореден сензор за влажност. Вредностите добиени при користење на овој сензор во лабораторија се прикажани на слика 34.

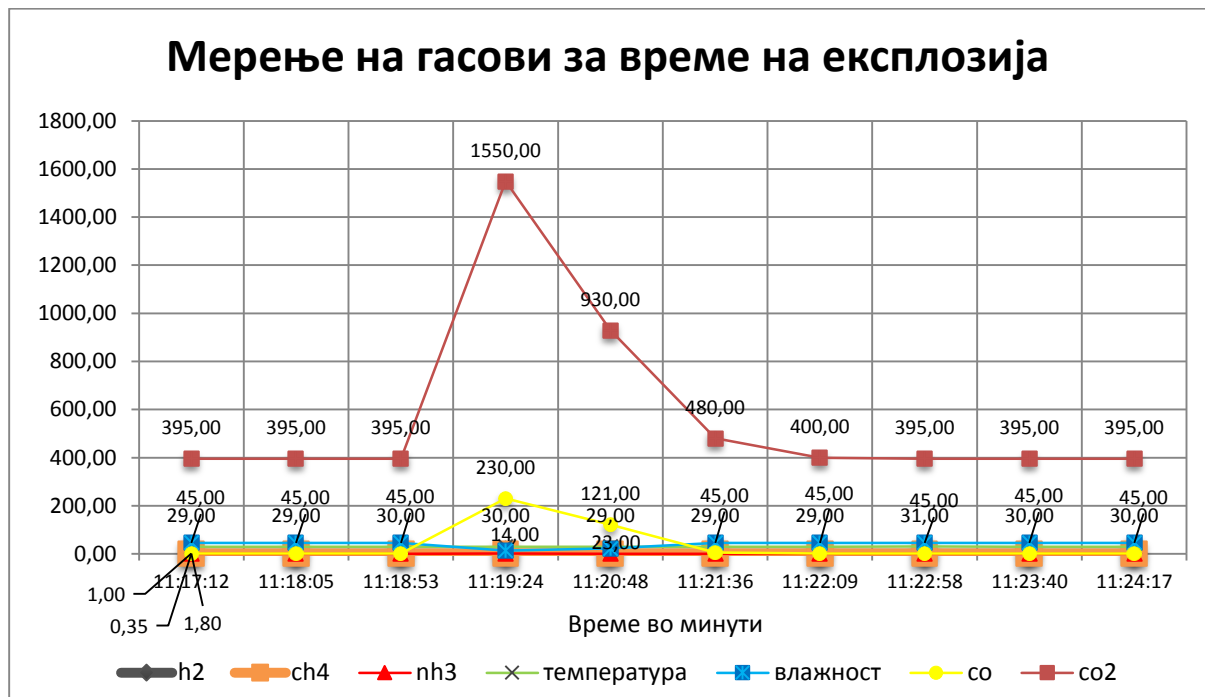


Слика бр. 34 Графички приказ на вредноста за влажност добиени од сензорот. Кривата со виолетова боја ја покажува вредноста за влажност при нормални услови а зелена ја покажува вредноста при покачена влажност

Figure 34. Graphical representation of humidity sensor value. Purple color curve shows the humidity value in normal conditions and green color curve shows the value by increases humidity

Резултатите кои се добиени од следење се детално анализирани со посебен акцент на точноста на добиените податоци. Може да се забележи дека доколку концентрациите се високи ќе се загрози здравјето на работникот.

Извршени се мерења за време на експлозија на површински коп во Стрмош АД Рудници за неметали - Пробиштип, за да се добијат податоци во реално време. Основната дејност на рудникот е експлоатација и преработка на неметални минерални сировини: кварцит, опалска бреча, аморфниот бел опализиран туф како и зеофит. Резултатите се добиени за време на експлозија. Експлозијата е извршена со амониум нитратен – тнт прашкаст експлозивен тип. Мобилниот робот за време на минирањето беше поставен на одалеченост 100 метри. Резултатите кои се добиени се прикажани на слика 35. Треба да се напомене дека за време на мерењето имаше ветер.



Слика бр. 35 Графички приказ на вредностите добиени за време на експлозија

Figure 35. Graphic display of the values obtained during the explosion

Табела бр. 18 Добиени вредности за време на експлозија

Table 18 Obtained values during the explosion

H ₂	CH ₄	CO ₂	NH ₃	Температура	Влажност	CO
1	1.8	395	0.35	29	45	1
1	1.8	395	0.35	29	45	1
1	1.8	395	0.35	30	45	1
1	1.8	1550	1.3	30	14	230
1	1.8	930	0.35	29	23	121
1	1.8	480	0.35	29	45	5
1	1.8	400	0.35	29	45	1.5
1	1.8	395	0.35	31	45	1
1	1.8	395	0.35	30	45	1
1	1.8	395	0.35	30	45	1

8. ДИСКУСИЈА

Како што беше наведено во почетокот на оваа магистерска работа, досегашните модели на системи од оваа област не се имплементирани во работната средина на рудниците. Овој факт влијаеше при изборот на тема за оваа магистерска работа. По деталната анализа на домашната и странската литература поврзана со оваа тема и по спроведените истражувања успешно беа исполнети предвидените цели во овој труд.

Како прво, детално беа истражени сите поими кои се поврзани со системите за следење на штетните гасови во подземните рудници. Со ова се постави добра основа и се доби слика за потребата од изградбата на овој систем. Откако беа разработени целите за системот детално беше образложено решението за изградба на ваков систем. Понатаму беа опишани деловите од кои се состои системот, неговата архитектура и карактеристики. Потоа е посветено внимание на тестирањето на системот и добиените резултати. На крај е направена детална анализа од добиените податоци и е дискутирано за нив.

Главните предности на овој систем се примената на софтвер кој се користи за следење, анализа, чување, известување и управување со концентрација на гасови и приказ на информациите добиени од сензорските јазли и мобилниот робот. Податоците се анализираат и се чуваат во базата на податоци. Системот по откривање на гасот прави исклучување на електричната енергија и обезбедува прецизно мерење на концентрација. Една од важните карактеристики на овој систем е тоа што е сосема способен за спречување на катастрофа во рудникот предизвикана од експлозија со отсекување на надворешното напојување кога концентрацијата ја надминува дозволената граница. Од графичите во делот за анализа може да се забележи дека доколку концентрациите се високи ќе се загрози здравјето на работникот.

Функционалноста на системот е споредена со друг сличен систем кој се користи за мерење на отровни гасови во рудниците.

V. Gomathi, Ph.D. u Sowmeya S, Avudaiammal P.S, Ganeshia R дизајнирале адаптивен робот за спасување во рудник користејќи Wireless Sensor Network (WSN). Подземните WSN се состојат од неколку до неколку стотици јазли помеѓу површинскиот портал и одредени сензорски јазли во подземните нивоа. Исто така како нашиот систем и нивниот систем е составен од сензори, контролен механизам со следење, и механички контролен механизам. Тие користат ZigBee безжична комуникација за пренос на податоците од околината кои се добиени од сензори за гас и температура.

Безжична комуникација помеѓу корисникот (контролната соба) и роботот е направена со помош на Zig-Bee примопредавател. Zig-Bee има ниска цена и долг век на батеријата. IEEE 802.15.4 се користи за трансивер за овој систем кој користи безжична технологија. Роботот се состои од сензор за гас, сензор за температура, единица за микроконтролери, Zig-Bee примопредавател кој се користи за откривање на гасот во рудникот и нивото на температурата. Исто така нашиот робот се состои од сензори на гас, сензор за температура и влажност, но за преносот на добиените податоци користеме ESP8266 Wi-Fi модул.

Isaac O. Osunmakinde, за разлика од нашиот систем, интегрирал рударска мрежа која е составена од оптички влакна како главна мрежа, а се користи WSNs во тунелите каде што е потребно следење. WSNs, исто така, ги поврзуваат и другите мрежи преку јазли, реализирајќи интеракција на информациите на надземни и подземни мрежи. Придобивките од оваа рудничка мрежа се следните: целосна употреба на постојната мрежа во рудникот, што подразбира евтино одржување, нема потреба да се поставуваат линии за комуникација и моќ за WSN, што го прави пофлексибилен, сензорски јазли кои можат да се постават опционално и компактно овозможувајќи да се следат станиците и сите други области во рудникот, мрежата може да се проширува и кога јазлите и патиштата се модифицирани, што го прави погоден за следење на движењето на роботот во подземни рудници.

Постоењето на фибер-оптички кабли во главните ходници ги ублажува предизвиците на мрежната покриеност во подземните тунелски региони.

Кабелот со оптички влакна комуницира со надземните сервери за пренос на податоци.

Vijaya Kumari Doddi, N.Anuradha дизајнираа систем за следење на безбедноста на рудникот за јаглен базиран на Zig-Bee безжична сензорска мрежа. Во нивниот проект постојат два дела. Првиот дел е подземен дел, а вториот дел е површински дел. Во подземниот дел сензорите ќе ги детектираат условите на околината, како што се: температура, влажност, гас итн. Оваа информација се испраќа до микроконтролерот. Микроконтролерот ја прикажува оваа информација на LCD-екранот и ја испраќа преку Zig-Bee предавател. Предавателите меѓусебно пренесуваат податоци од 70 до 100 метри во тунелите на рудникот. Во површинскиот дел Zig-Bee ресиверот ги зема информациите и ги испраќа до контролерот.

Од погореразгледаните системи може да се види дека некои од нив користат безжична сензорска мрежа со Zig-Bee која се состои од неколку до неколку стотици јазли, за разлика од нашиот каде користиме ESP8266 Wi-Fi модул за безжична сензорска мрежа која се состои од неколку јазли.

Друга споредба е дека во рудниците каде што е имплементиран системот низ тунелот е поставен оптички кабел, за разлика во рудниците во нашата околина нема поставено оптички кабли така што системот не може да се тестира.

Подолу се прикажани причините поради кои мерењата се направени на површински коп за време на експлозија во рудникот во Стрмош како и причините поради кои системот не може да се имплементира во подземен рудник, а можат да се извршат мерења во површински рудник, а тоа се:

- заштита од оштетување на мобилниот робот;
- нерамен терен;
- прототип на мобилен робот (слаб мотор, мали тркала итн);
- нема пристап до интернет (оптички кабел);
- потребни се голем број на сензорски јазли;
- проблем со напојување (голем број на банка батерии);
- лице запознаено со функционалноста кое ќе го примени и користи системот за мерење.

Од наведените причини се гледа дека е потребна голема инвестиција за да се создадат услови за имплементирање на системот и прототип на мобилниот робот. Потребно е приспособување на дизајнот за роботот да може да се движи во подземниот рудник.

9. ЗАКЛУЧОК

Истражувачката работа и развојот на системот се насочени кон обезбедување на решение од областа на заштита од штетни гасови во подземните рудници. Брзото зголемување на производството на разни минерали во голема мера се однесува на брзото зголемување на ископувањето и засилената механизација која резултира со нагло зголемување на длабочината и површината на рудниците од ден на ден. Вибрациите и детонација предизвикуваат расцепкување на карпи и движење на земјата. За да се справи со овие проблеми, рударската индустрија има потреба од соодветни сензори кои ќе ги проценат различните подземни ситуации и ќе дадат предупредување на претстојните опасности, кои овозможуваат преземање на проактивни мерки.

Следењето ќе биде од суштинско значење за работата на системот за детекција на гас и неговата концентрација. Рударството само по себе е опасна индустрија, каде што здравјето и безбедноста се од суштинско значење за рударите и нивните организации. Така, рударската индустрија има инвестирано многу време и пари за развој на безбедносни процедури и обуки за да се осигура здравјето на рударите. Сензорите нудат безбедност во рудникот и заштита на здравјето на рударите.

Развиениот систем обезбедува следење и алармирање при високи концентрации на отровни гасови. Овој систем е способен за следење на пет гасови (CH_4 , H_2 , CO , CO_2 , NH_3) и други еколошки параметри како температура и влажност и пренос на истите преку WSN.

Во овој магистерски труд е презентирano решение за следење на штетните гасови во подземните рудници. Овој систем е спореден со слични модели на системи и неговите предности се опишани во предложеното решение.

Истражувањето има за цел да се изгради комплетен модел на систем кој ги подобрува условите на работниците во рудникот. Истражувањата

спроведени во рамки на оваа магистерска работа со своите резултати даваат придонес за безбедноста во работната средина.

Презентирано е истражување врз основа на сензори за следење на гасови во подземните тунели. Откако измерената вредност е поголема од дозволената се алармира.

Мобилниот робот влегува во опасни средини и обезбедува податоци како концентрација на различни гасови, а исто така температура врз основа на која работниците ќе бидат испратени со сите неопходни мерки на претпазливост за да се добие сигурност дека нема дојде до никаква штета.

Исто така во оваа магистерска работа е претставена безжична сензорска мрежа за пренос и детектирање на гасови, која може да се користи за следење на концентрацијата на гас во рудник во реално време. Овој систем се одликува со голема сигурност и е лесен за ракување. Во подземните рудници потребно е да се контролира високата концентрација и појава на гас и да се минимизира ризикот од појавување на гас во рудниците. За да се намали концентрацијата и да се препознаат штетни гасови потребно е да се истражува за да се дојде до одредени заклучоци.

Разни сензори се користат за мерење на овие гасови врз основа на специфичните услови. Изборот на сензорот зависи од неговата примена и условите на околината (температура, влажност и сл), во која треба да се користи. Потребно е посебно внимание ако сензорите постојано се изложени на гас. Споредувањето на спецификациите може да помогне за избирањето на одреден сензор за одредена примена. Секоја технологија на сензорот има одредени предности и ограничувања кои мора да бидат земени предвид.

Добиените резултати во различни околии, како и околии во кои има различна концентрација на гасови се прикажани и анализирани. Според ова, овој систем претставува добра основа за идни истражувања. Заштита на рударите од штетни гасови е клучна улога во дијагностицирањето на сложените системи. Со помош на системот се обезбедува донесување на одлуки кои се корисни за безбедноста во рудникот.

Погоре е наведено за важноста на мерењата, поради што е важно да се алармира, како и пренесувањето на добиените информации да бидат во реално време. Заклучоците се добиени од многуте системи кои се применети насекаде низ рудниците, како и од литературата која е истражена и цитирана во оваа магистерска работа. Системот има голема примена во различни области, како што се: рудници (подземни и површински), далечинско следење, добивање на податоци во реално време, безбедност на работниците при зголемени концентрации и други области.

Главниот фокус на оваа магистерска работа се паметните сензори и безжична сензорска мрежа. Овој систем детално ја прикажува моменталната концентрација на штетни гасови добиени од сензори и безжична сензорска мрежа за состојбата во динамични средини како што е рударството. Целта е да им овозможи на рударите безбедно работење во средина која постојано се менува, предвидвидување на работната средина преку добивање податоци во реално време добиени од безжична сензорска мрежа. Оваа магистерска работа не се однесува на одредени детални теми на внатрешна безбедност, следење и лоцирање заробени рудари, или комуникација со заробените рудари. Безбедноста е главна точка на системот. Стабилна безжична мрежа е клучен дел на инфраструктура за поддршка на реализацијата на безжични паметни сензорски мрежи, кои им обезбедуваат на корисниците податоци од работната средина. Затоа, во овој дел најголем акцент има преносот на податоци со безжичната сензорска мрежа.

Системот за следење на состојбата на гасови е уникатен развој, кој следи важни подземни параметри во рудникот. Тука се вклучени гасови кои обично се наоѓаат во внатрешноста на рудникот, температурата на воздухот, и влажноста на воздухот. Карактеристична особина на овој систем е тоа што се прекинува напојувањето штом концентрација на запалливи гасови ја надминува соодветната гранична вредност и помага да се спречи експлозија во рудникот која се должи на палење. Овој систем исто така, генерира и аудио и визуелни аларми кога секој параметар ќе го достигне нивото на опасност. Оттука, овој систем, може да поднесе да опстане во високоексплозивни области каде што снабдувањето со електрична енергија или не е достапно или е ограничено.

Мобилниот робот лесно може да се премести од едно место до друго бидејќи е подвижен. Исто така и сензорските јазли се преносливи. Дополнителна предност е далечинско отчитување, за гледање на концентрацијата од безбедна дистанца, и складирање на податоци за концентрацијата на гасови заедно со датумот и времето за понатамошна употреба, како и кога е потребно. Несомнено, рударската индустрија ќе има огромна корист од овој систем, кој е суштински безбеден и заштититен.

Рударската индустрија ќе има многу бенифиции од развој на ваков систем за безбедност бидејќи ги спречува катастрофите во рудникот кои ќе бидат предизвикани од експлозии на метан со исклучување на напојувањето кога концентрацијата на метан ја надминува дозволената граница, а во исто време се активираат алармите кои им помагаат во евакуација на рударите и машините од опасната зона, што резултира со зачувување на вредни човечки животи и имотот на рудникот.

Главните карактеристики на овој систем може да се резимираат во следниве точки:

- системот прецизно ја мери концентрацијата на гасовите (CO , CO_2 , CH_4 , H_2 , NH_3) и други еколошки параметри како температура и влажност;
- системот може да се користи во високоексплозивни области каде што нормалното снабдување со електрична енергија не е достапно или е ограничено;
- системот обезбедува опсег на оддалеченост од сензорските јазли до растојание од 100 метри;.
- системот вклучува аларм како аудио аларм и светло кое трепка црвено како визуелен аларм;
- мобилниот робот може да биде регулиран од површината со што се обезбедува лесен пристап во тунелите;
- податоците се добиваат преку безжична сензорска мрежа, што го прави системотвозможен каде жичната комуникација е пречка;
- како инструмент системот е пренослив, и може да се поставува од едно место до друго;

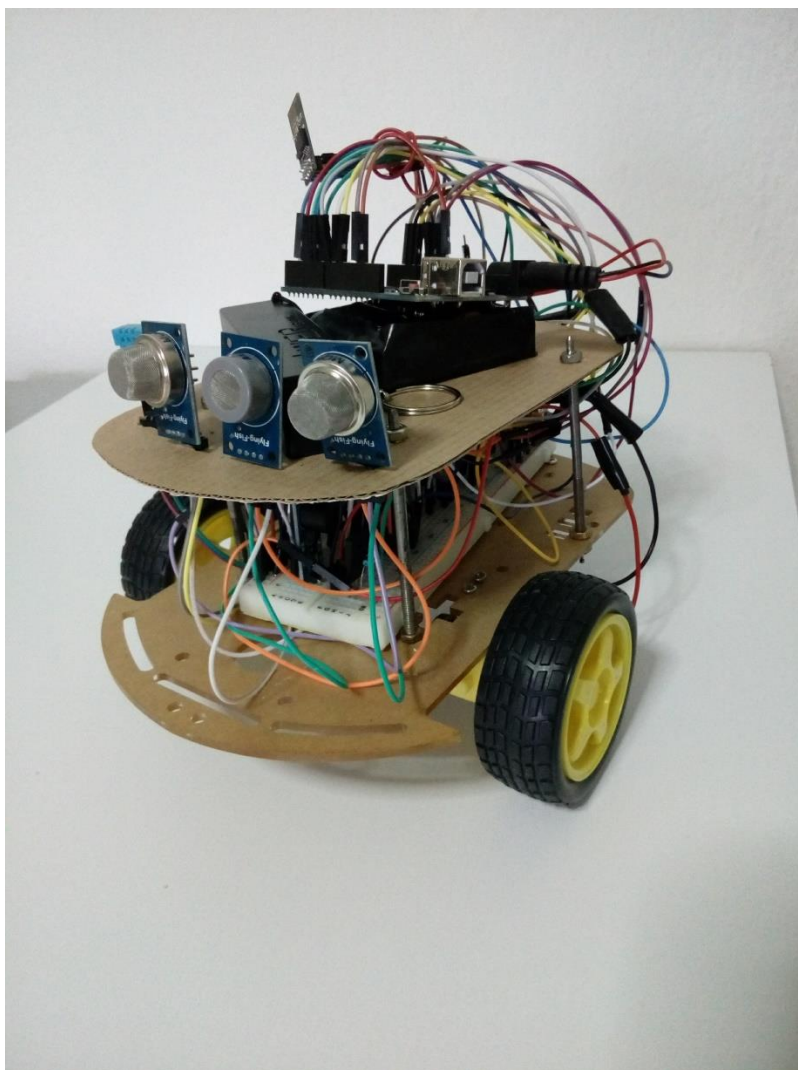
- исто така, има можност за преглед и читање од безбедна далечина, како и складирање на податоци со датум и време за понатамошна анализа, како и кога е потребно;
- енергијата за сензорските јазли и мобилниот робот е обезбедена од страна на банка батерија, која е суштински безбедна и корисна за употреба во подземни рудници;
- ниска цена;
- точност на податоци.

9.1 Понатамошна работа

Понатамошен развој кој исто така може да се имплементира е преку:

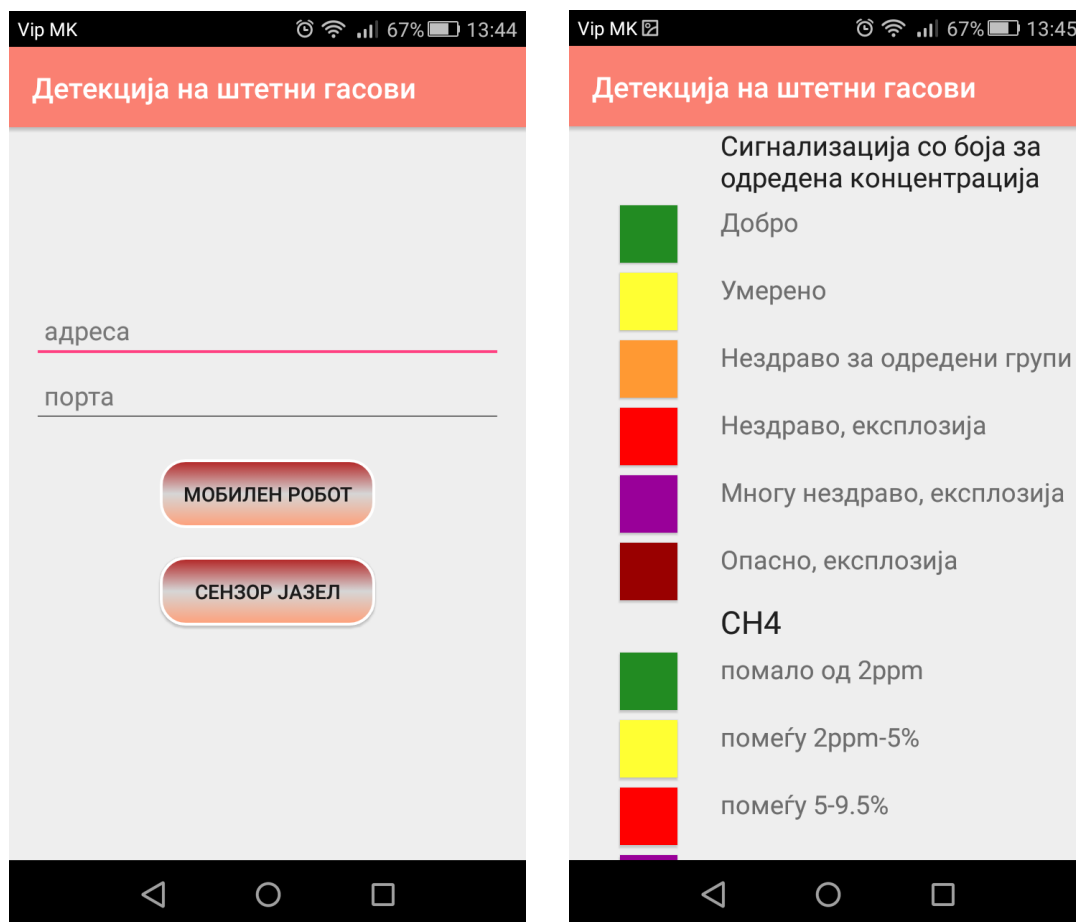
1. Користење на дополнителни сензори за да може да се следат сите можни безбедносни проблеми како гасови, прашина, вибрации, пожар и др.
2. Zigbee може да се користи за следење на рударски операции, како што се слегнување, истекување на вода итн.
3. Во опремата која ја носат рударите да се прикачат дополнителни сензори кои ќе ја прикажуваат локацијата за полесно пронаоѓање од спасувачкиот тим.

10. ДОДАТОК



Слика бр. 36 Мобилен робот со сензори користени за следење

Figure 36. Mobile robot with sensors used to tracking



Слика бр. 37 Почетен екран на мобилната апликација и сигнализација со боја за одредена концентрација на соодветен гас

Figure 37. A startup screen of the mobile application and signalisation color for a particular concentration of a suitable gas

Табела бр. 19 Чувствителност за CO во MQ-7

Table 19 Sensitivity to CO in MQ-7

	Rs/Ro	CO
MQ-7	0.1	4000
	0.2	1200
	0.3	550
	0.4	400
	0.5	300
	0.6	200
	0.7	150
	1	100

Табела бр. 20 Чувствителност за Метан во MQ-2

Table 20 Sensitivity to Methane in MQ-2

	Rs/Ro	CH ₄
MQ-2	0.7	10000
	0.95	5000
	1.15	3000
	1.33	2000
	1.45	1600
	1.7	1000
	1.85	800
	2.25	500
	3	200

Табела бр. 21 Извршени мерења после половина час по минирање во јамите на Рудник “Злетово”

Table 21 Measurements performed after half an hour after mining pits in the mine "Zletovo"

Датум на мерење	Повершина	Брзина на воздух	Температура	Влажност во воздухот	CO	CO ₂	NO	NO ₂	O ₂
20.01.2010	8,0	0,5	19 ⁰	94%	0	0	0	0	20,9
20.01.2010	8,5	0,5	19 ⁰	93%	0	0,4	0	0	20,9
21.01.2010	8,5	1,7	19 ⁰	86%	0	0	0	0	20,9
03.02.2010	8,0	0,5	19 ⁰	90%	0	0	0	0	20,9
03.02.2010	8,0	0,5	19 ⁰	92%	0	0,5	0	0	20,9
05.02.2010	7,5	0,4	19 ⁰	87%	0	0,7	0	0	20,9
05.02.2010	8,5	0,4	19 ⁰	88%	0	0,6	0	0	20,9
25.02.2010	8,5	0,5	19 ⁰	90%	0	0,4	0	0	20,9
04.03.2010	8,5	0,4	19 ⁰	87%	0	0,5	0	0	20,9
05.03.2010	8,0	0,4	19 ⁰	90%	0	0,4	0	0	20,9
16.03.2010	8,0	0,5	19 ⁰	92%	0	0,5	0	0	20,9
16.03.2010	8,0	0,5	19 ⁰	92%	0	0,5	0	0	20,9
21.03.2010	8,5	0,4	19 ⁰	90%	0	0,4	0	0	20,9
22.03.2010	8,5	0,4	19 ⁰	91%	0	0,3	0	0	20,9
20.04.2010	8,0	0,4	19 ⁰	90%	0	0,5	0	0	20,9
21.04.2010	8,5	0,4	19 ⁰	91%	0	0,5	0	0	20,9
23.04.2010	8,5	0,5	19 ⁰	92%	0	0,5	0	0	20,9
15.05.2010	8.5	0,4	19 ⁰	90%	0	0,4	0	0	20,9

Во табела 21 се прикажани извршените мерења по минирање на руди олово и цинк на локалитетот Злетово, општина Пробиштип. Со оглед на геолошката градба на рудната зона Јама Злетово и поширокиот терен, концентрациите во јамската атмосфера не смеат да ги надминат граничните вредности дефинирани со Правилникот за минималните барања за безбедност и здравје при работа на вработени од ризици поврзани со изложување на хемиски супстанции.

11. КОРИСТЕНА ЛИТЕРАТУРА (REFERENCES)

- [1] Stracher, Glenn B., and Tammy P. Taylor. "Coal fires burning out of control around the world: thermodynamic recipe for environmental catastrophe." *International Journal of Coal Geology* 59, no. 1 (2004): 7-17.
- [2] Liu Xiaoli, Guo Liwen, and Zhang Zhiye, *Statistics Analasis of death Accident in Coal Mines from January 2005 to June 2009*; IEEE 2010
- [3] Trumbull, Brian, Linda Floyd, and Chris Pickett. "Hazardous gas monitoring training system and method." U.S. Patent Application 15/132,088, filed April 18, 2016.
- [4] Kim, Jung-Yoon, Chao-Hsien Chu, and Sang-Moon Shin. "Designing integrated sensing systems for real-time air quality monitoring." In *Information Science and Applications (ICISA), 2014 International Conference on*, pp. 1-6. IEEE, 2014.
- [5] Kama Azura Othman, Norhayati H., Norennina S. "Monitoring Carbon Monoxide Emission in the Air Using Wireless Application." In *Proceedings of the World Congress on Engineering*, vol. 2. 2013.
- [6] Kakade, Kanchan J., and S. A. Annadate. "Hazardous Gas Detection Robot in Coal Mines." *International Journal of Electronics Communication and Computer Technology (IJECCCT)*. Volume 5 Issue 5. 2015.
- [7] Ulu, C., Y. El-Kahlout, I. Hancioglu, O. Canbak, E. U. Genc, and D. M. Bahar. "Design of an inspection robot for search and rescue operations in mines." In *23rd International Mining Congress and Exhibition of Turkey*. Turkey: Chamber of Mining Engineers of Turkey, pp. 1913-1921. 2013.

- [8] Bennetts, Victor Hernandez, Achim J. Lilienthal, Ali Abdul Khaliq, Victor Pomareda Sesé, and Marco Trincavelli. "Gasbot: A mobile robotic platform for methane leak detection and emission monitoring." In IROS Workshop on Robotics for Environmental Monitoring (WREM, <http://wrem2012.isr.uc.pt/Home.html>), Oct, pp. 7-12. 2012.
- [9] Chakkath, Mr Sabarish, S. Hariharansiddharath, and B. Hemalatha. "Mobile Robot in Coal Mine Disaster Surveillance." *Transportation* 261 (2012): 230.
- [10] Rong, Xuewen, Rui Song, Xianming Song, and Yibin Li. "Mechanism and explosion-proof design for a coal mine detection robot." *Procedia Engineering* 15 (2011): 100-104.
- [11] Zhigang, Niu, and Wang Lu. "Hazardous Gas Detecting Method Applied in Coal Mine Detection Robot." In *Measuring Technology and Mechatronics Automation (ICMTMA), 2011 Third International Conference on*, vol. 2, pp. 308-311. IEEE, 2011.
- [12] Li, Mo, and Yunhao Liu. "Underground coal mine monitoring with wireless sensor networks." *ACM Transactions on Sensor Networks (TOSN)* 5, no. 2 (2009): 10.
- [13] Sun, Ji-Ping. "Research on characteristics and key technology in coal mine internet of things." *Journal of China Coal Society* 36, no. 1 (2011): 167-171.
- [14] Kumar, A., T. M. G. Kingson, R. P. Verma, R. Mandal, S. Dutta, S. K. Chaulya, and G. M. Prasad. "Application of gas monitoring sensors in underground coal mines and hazardous areas." *International Journal of Computer Technology and Electronics Engineering* 3, no. 3 (2013): 9-23.
- [15] Bakri, Nur Azieda Mohd, Syed Abdul Mutalib Al Junid, Abdul Hadi Abdul Razak, Mohd Faizul Md Idros, and Abdul Karimi Halim. "Mobile Carbon Monoxide Monitoring System Based on Arduino-Matlab for Environmental

- Monitoring Application." In IOP Conference Series: Materials Science and Engineering, vol. 99, no. 1, p. 012009. IOP Publishing, 2015.
- [16] Xu, Zhao-long, Jie Yang, Shan Cai, and Xiao-zhi Liu. "Detecting robot system for mine disasters." In E-Product E-Service and E-Entertainment (ICEEE), 2010 International Conference on, pp. 1-4. IEEE, 2010.
- [17] The statistics of mine disasters
http://www.ismenvis.nic.in/Database/Worst_Mining_Accidents_1900_6026.Aspx
- [18] Mine Gases - United States Mine Rescue Association
<http://miningquiz.com/download/minegases.htm>
- [19] Li, Haitao, Xiaoyi Mu, Zhe Wang, Min Guo, Xiangqun Zeng, and Andrew J. Mason. "Room temperature ionic-liquid electrochemical gas sensor array system for real-time mine safety monitoring." In SENSORS, 2013 IEEE, pp. 1-4. IEEE, 2013.
- [20] Lavanya, M., and S. Chellaganesghavalli. "Safety Monitoring System for Coal Mine Workers using Different Sensors." Biometrics and Bioinformatics 7, no. 3 (2015): 61-65.
- [21] Yick, Jennifer, Biswanath Mukherjee, and Dipak Ghosal. "Wireless sensor network survey." Computer networks 52, no. 12 (2008): 2292-2330.
- [22] Buettrich Sebastian, and A. Escudero Pascual. "Basic Wireless Infrastructure and Topologies." Wireless Networking (2006).
- [23] Friess, Peter. Internet of things: converging technologies for smart environments and integrated ecosystems. River Publishers, 2013.

- [24] Yang, Jiachen, Jianxiong Zhou, Zhihan Lv, Wei Wei, and Houbing Song. "A real-time monitoring system of industry carbon monoxide based on wireless sensor networks." *Sensors* 15, no. 11 (2015): 29535-29546.
- [25] Chehri, Abdellah, Paul Fortier, and Pierre-Martin Tardif. "Security monitoring using wireless sensor networks." In *Communication Networks and Services Research, 2007. CNSR'07. Fifth Annual Conference on*, pp. 13-17. IEEE, 2007.
- [26] Xianli, Q., Mingchao, F., Bin, S. (2011), "Coal Mine Gas Wireless Monitoring System Based on WSNs".
- [27] Sun, Enji, Xingkai Zhang, and Zhongxue Li. "The internet of things (IOT) and cloud computing (CC) based tailings dam monitoring and pre-alarm system in mines." *Safety science* 50, no. 4 (2012): 811-815.
- [28] Markovic, Dragan S., Dejan Zivkovic, Irina Branovic, Ranko Popovic, and Dragan Cvetkovic. "Smart power grid and cloud computing." *Renewable and Sustainable Energy Reviews* 24 (2013): 566-577.
- [29] Elliot, Steve. "AWS 101: What is Amazon Web Services and how is Amazon's Cloud used in Science and Education." (2016)..
- [30] Yu, Liyang, Neng Wang, and Xiaoqiao Meng. "Real-time forest fire detection with wireless sensor networks." *Wireless Communications, Networking and Mobile Computing, 2005. Proceedings. 2005 International Conference on*. Vol. 2. IEEE, 2005.
- [31] Trainor, Joseph E., and C. E. M. Tony Subbio. "Critical issues in disaster science and management." 2007.
- [32] Alexander Fischer. "Simulation Techniques for Fire Detection Systems Chance and Limits". 2007.

- [33] Tan, Wei, Qianping Wang, Hai Huang, Yongling Guo, and Guoxia Zhang. "Mine fire detection system based on wireless sensor network." In Information Acquisition, 2007. ICIA'07. International Conference on, pp. 148-151. IEEE, 2007.
- [34] Niu, Xiaoguang, Xi Huang, Ze Zhao, Yuhe Zhang, Changcheng Huang, and Li Cui. "The design and evaluation of a wireless sensor network for mine safety monitoring." In Global Telecommunications Conference, 2007. GLOBECOM'07. IEEE, pp. 1291-1295. IEEE, 2007.
- [35] Hongjiang, He, and Wang Shuangyou. " The application of ARM and ZigBee technology wireless networks in monitoring mine safety system." In Computing, Communication, Control, and Management, 2008. CCCM'08. ISECS International Colloquium on, vol. 2, pp. 430-433. IEEE, 2008.
- [36] LI, Hui, Xiao-guang ZHANG, Ding GAO, and Zheng SUN. "Application of wsn based on ZigBee in mine safety monitoring [J]." Instrument Technique and Sensor 4 (2008): 33-35.
- [37] Weng, Lin-Song, Ching-Lung Lin, and Hsueh-Hsien Chang. "Development of a real-time mine auxiliary monitoring system using RF wireless sensor networks." Computer Supported Cooperative Work in Design, 2009. CSCWD 2009. 13th International Conference on. IEEE, 2009.
- [38] Fu, H., Wang, T., Yuang, C. (2009), "Intelligent Fuzzy Sensing System in Coal Mine Safety Monitoring".
- [39] Wei, Shi, and Li Li-li. "Multi-parameter monitoring system for coal mine based on wireless sensor network technology." In Industrial Mechatronics and Automation, 2009. ICIMA 2009. International Conference on, pp. 225-227. IEEE, 2009.

- [40] Wenge Li, Zhenmei Li, Wei Liu, Peiyu Wei. "The remote monitoring and analysis system of mine safety based on virtual instrument". Test and Measurement, 2009. ICTM '09. IEEE, (2009).
- [41] Wu, Hongmei, Li Liu, and Xiurong Yuan. "Remote monitoring system of mine vehicle based on wireless sensor network." In Intelligent Computation Technology and Automation (ICICTA), 2010 International Conference on, vol. 2, pp. 1015-1019. IEEE, 2010.
- [42] Huang, Li-Chien, Hong-Chan Chang, Cheng-Chung Chen, and Cheng-Chien Kuo. "A ZigBee-based monitoring and protection system for building electrical safety." Energy and Buildings 43, no. 6 (2011): 1418-1426.
- [43] Bo, Cheng, Qiao Xiuquan, Wu Budan, Wu Xiaokun, Shi Ruisheng, and Chen Junliang. "RESTful web service mashup based coal mine safety monitoring and control automation with wireless sensor network." In Web Services (ICWS), 2012 IEEE 19th International Conference on, pp. 620-622. IEEE, 2012.
- [44] Boddu, Rajkumar, P. Balanagu, and N. Suresh Babu. "Zigbee based mine safety monitoring system with gsm." International Journal of Computer & Communication Technology 3, no. 5 (2012): 63-67.
- [45] Osunmakinde, Isaac O. "Towards safety from toxic gases in underground mines using wireless sensor networks and ambient intelligence." International Journal of Distributed Sensor Networks (2013).
- [46] Kumar, Mohit. "Development of health care monitoring system based on ZigBee." PhD diss., Thapar University, 2013.
- [47] Dange, K. M., and R. T. Patil. "Design of monitoring system for coal mine safety based on MSP430." IJESI 2, no. 7 (2013): 14-19.

- [48] Naticchia, Berardo, Massimo Vaccarini, and Alessandro Carbonari. "A monitoring system for real-time interference control on large construction sites." *Automation in Construction* 29 (2013): 148-160.
- [49] Xiaodong, Zhang, Tan Yuegang, and Hou Yan. "Research and application of embedded technology in remote network monitoring system of coal mine." In *Control and Decision Conference (2014 CCDC), The 26th Chinese*, pp. 4112-4116. IEEE, 2014.
- [50] Dohare, Yogendra Singh, Tanmoy Maity, P. S. Paul, and Hanuman Prasad. "Smart low power wireless sensor network for underground mine environment monitoring." In *Recent Advances in Information Technology (RAIT), 2016 3rd International Conference on*, pp. 112-116. IEEE, 2016.
- [51] Reddy, N. Surendranath, M. Srinivasa Saketh, and Sourav Dhar. "Review of sensor technology for mine safety monitoring systems: A holistic approach." In *Control, Measurement and Instrumentation (CMI), 2016 IEEE First International Conference on*, pp. 429-434. IEEE, 2016.
- [52] Bai, Chengyu. "Application of WSN Fire Monitoring System in Coal Mining." *International Journal of Online Engineering* 13, no. 3 (2017).
- [53] Deokar, S. R., and J. S. Wakode. "Coal Mine Safety Monitoring and Alerting System." (2017).
- [54] "MQ-2 Datasheet." [Online].
Достапно на: <https://www.elecrow.com/download/MQ-2.pdf>
- [55] "MQ-7 Datasheet." [Online].
Достапно на: <https://www.futurlec.com/Datasheet/Sensor/CO.pdf>
- [56] "MQ-135 Datasheet." [Online].

- Достапно на: <https://www.olimex.com/Products/Components/Sensors/SNS-MQ135/resources/SNS-MQ135.pdf>
- [57] Bochenkov, V. E., and G. B. Sergeev. "Sensitivity, selectivity, and stability of gas-sensitive metal-oxide nanostructures." *Metal oxide nanostructures and their applications* 3 (2010): 31-52.
- [58] Vogt, D. Brink, V.Z. Stewart, R. Haarhoff, J. Ferreira, G. Donovan, S. 2009. AziSA: Improving mining decisions with real-time data, *The Journal of The Southern African Institute of Mining and Metallurgy*, pp 15-21.
- [59] Laliberté, P. Summary Study of Underground Communications Technologies. Ottawa, 2009.
- [60] Mine Site Technologies. [Online]. 2010. [cited 2011 April 10. Достапно на: http://www.minesite.com.au/wordpress/wp-content/uploads/2010/06/ImPact_Network_Infrastructure.pdf.
- [61] IEEE. Carrier Sense Multiple Access with Collision Detection (CSMA/CD) Access Method and Physical Layer Specifications. 2008.
- [62] Kassner, M. Tech Republic. [Online]. 2010. [cited 2011 April 15. Достапно на: <http://www.techrepublic.com/blog/networking/ethernet-over-power-linesnetgear-makes-major-improvements/2704>.
- [63] Kinney, P. ZigBee Technology: Wireless Control that Simply Works. San Ramon, 2003.
- [64] Schiffbauer, W.H. Mowrey, G.L. Brune, J.F. Through-the-Earth and Other Types of Communication Systems for Underground Coal Miners for Disaster and Normal Operations, 2006.

- [65] CDC: NIOSH Mining. [Online]. 2010. [cited 2011 April 12. Достапно на: <http://www.cdc.gov/niosh/mining/topics/electrical/commtrackingtutorial/commtrackingtutorial.htm>.
- [66] <http://www.miningglobal.com/technology/examining-internet-things-and-its-impact-mining-industry-2016>
- [67] <https://www.postscapes.com/connected-mining/>
- [68] <https://talkiot.co.za/2017/02/07/the-smart-connected-mining-internet-of-things-advancing-mining/>
- [69] <http://www.softwareadvice.com/resources/5-lessons-advanced-mining-iot/>

Катерина Цекова

МОБИЛЕН СЕНЗОРСКИ СИСТЕМ ЗА ДЕТЕКЦИЈА НА ШТЕТНИ ГАСОВИ ВО
ПОДЗЕМНИТЕ РУДНИЦИ

Универзитет „Гоце Делчев“ - Штип